

800m走のレースパターンと走動作に関するバイオメカニクス的研究

著者	門野 洋介
発行年	2015
学位授与大学	筑波大学 (University of Tsukuba)
学位授与年度	2014
報告番号	12102甲第7410号
URL	http://hdl.handle.net/2241/00134426

博 士 論 文

800m 走のレースパターンと走動作に関するバイオメカニクス的研究

平 成 26 年 度

門 野 洋 介

筑 波 大 学

目 次

博士論文に関連する業績一覧	
表一覧	i
図一覧	iii
写真一覧	viii
1. 緒言	1
1.1 日本における陸上競技 800m 走の現状と課題	1
1.2 800m 走パフォーマンス向上におけるバイオメカニクス的研究の意義	4
2. 文献研究	9
2.1 レースパターンに関するバイオメカニクス的研究	9
2.1.1 レースパターンの特徴に関するバイオメカニクス的研究	9
2.1.2 レースパターンのモデル化および類型化に関する研究	18
2.2 走動作に関するバイオメカニクス的研究	22
2.2.1 レース中の走動作に関するバイオメカニクス的研究	22
2.2.2 疲労の影響による走動作の変化に関する研究	24
3. 研究目的および研究課題	29
3.1 研究目的	29
3.2 研究課題	29
3.3 研究の仮定	30
3.4 研究の限界	31
4. 方法	32
4.1 競技会におけるレース分析	32
4.1.1 データ収集	32
4.1.2 データ処理	32
4.2 競技会における動作分析	35
4.2.1 データ収集	35
4.2.2 データ処理	35
4.3 600m 走実験における走スピードおよび動作分析	37
4.3.1 被験者および実験試技	37
4.3.2 データ収集	39
4.3.2.1 600m 走中の走スピード分析のためのデータ収集	42
4.3.2.2 動作分析のためのデータ収集	42
4.3.3 データ処理	43
4.3.3.1 600m 走中の走スピード分析のためのデータ処理	43
4.3.3.2 動作分析のためのデータ処理	43
4.4 動作分析における時点および局面の定義	43
4.5 算出項目および算出方法	45
4.5.1 レース分析における算出項目および算出方法	45

4.5.2 動作分析における算出項目および算出方法	46
5. 800m 走におけるレースパターンの特徴	56
5.1 目的	56
5.2 方法	58
5.2.1 分析対象者	58
5.2.2 統計処理	58
5.3 結果	61
5.3.1 走スピード	61
5.3.2 ステップ長, ステップ頻度	61
5.3.3 相対走スピード	68
5.4 考察	74
5.4.1 走スピード, ステップ長およびステップ頻度からみたレースパターンの特徴	74
5.4.2 レースパターンのモデル化および類型化	76
5.5 要約	83
6. 800m レース中の走動作の特徴	84
6.1 目的	84
6.2 方法	86
6.2.1 分析対象競技会および分析対象者	86
6.2.2 統計処理	86
6.3 結果	89
6.3.1 レースパターン	89
6.3.2 走速度, ステップ長, ステップ時間	89
6.3.3 身体重心のキネマティクス	96
6.3.4 体幹および下肢のキネマティクス	96
6.3.5 回復脚のキネマティクス	105
6.4 考察	115
6.4.1 レース前半の走動作の特徴	115
6.4.2 レース後半の走動作の特徴	118
6.4.3 前半型および後半型のレースパターンにおける走動作の特徴	122
6.5 要約	125
7. 疲労の影響による走動作の変化と疲労状態で走速度を維持するための技術	128
7.1 目的	128
7.2 方法	130
7.2.1 統計処理	130
7.3 結果	131
7.3.1 パフォーマンスおよび走スピードの変化	131
7.3.2 走速度, ステップ長, ステップ時間	131
7.3.3 身体重心のキネマティクス	135
7.3.4 体幹および下肢のキネマティクス	138
7.3.5 地面反力	142

7.3.6	下肢のキネティクス	146
7.4	考察	168
7.4.1	疲労の影響による走動作の変化	168
7.4.2	疲労状態において走速度を維持するための技術	172
7.5	要約	177
8.	800m 走パフォーマンス向上のためのトレーニングおよびコーチングへの示唆	179
8.1	レースパターンに関する示唆	179
8.1.1	よい記録を出すためのレースパターンについて	179
8.1.2	レースパターンの改善について	180
8.2	走動作に関する示唆	186
8.2.1	レース前半の走動作について	186
8.2.2	レース後半の走動作について	189
8.3	走動作のトレーニングおよびコーチングへの示唆	189
9.	結論	191

謝辞

文献

博士論文に関連する研究業績一覧

1. 原著論文

- ① 門野洋介, 阿江通良, 榎本靖士, 杉田正明, 森丘保典 (2008) 記録水準の異なる 800m 走者のレースパターン. 体育学研究, 53 (2), 247-263
- ② H. Kadono, M. Ae, Y. Suzuki and K. Shibayama (2013) Effects of fatigue on leg kinetics during all-out 600m running. International Journal of Sports and Health Science, 11, 54-61

2. 国際学会 proceedings

- ① H. Kadono, M. Ae, Y. Suzuki and K. Shibayama (2009) Effects of fatigue on the ground reaction forces and leg kinetics in all-out 600 metres running. Proceedings of 27th International Symposium on Biomechanics in Sports.
- ② H.Kadono, M. Ae, Y. Suzuki and K. Shibayama (2011) Effects of fatigue on the leg kinetics in all-out 600m running. Proceedings of 29th International Symposium on Biomechanics in Sports.

3. 解説

- ① 門野洋介 (2011) 中距離走のレースパターンにみられる共通性と個性. バイオメカニクス研究, 15 (3), 96-100
- ② 門野洋介 (2015) 800m 走のレースパターンの分析・モデル化・評価と改善. バイオメカニズム学会誌, 39 (1), 1-6 (印刷中)

4. 学会発表

- ① 門野洋介, 阿江通良, 榎本靖士, 森丘保典, 杉田正明, 松尾彰文: 男子 800m 走の競技レベル別レースパターンの特徴. 日本陸上競技学会第 5 回大会 (日本女子体育大学): 2006 年 9 月
- ② 門野洋介, 阿江通良: 男子 800m 走のレースパターンとペース配分. 日本スポーツ方法学会第 18 回大会 (筑波大学): 2007 年 3 月
- ③ 門野洋介, 阿江通良, 鈴木雄太, 柴山一仁: 陸上競技中距離走者の 600m 走中における支持脚関節トルクの変化. 第 20 回日本バイオメカニクス学会大会 (仙台大学): 2008 年 8 月
- ④ H.Kadono, M. Ae, Y. Suzuki and K. Shibayama: Effects of fatigue on the ground reaction forces and leg kinetics in all-out 600 meters running. 27th International Symposium on Biomechanics in Sports.: University of Limerick, Ireland: August, 2009
- ⑤ H.Kadono, M. Ae, Y. Suzuki and K. Shibayama: Effects of fatigue on the leg kinetics in all-out 600m running. 29th International Symposium on Biomechanics in Sports.: University of Porto, Portugal: August, 2011

表 一 覧

Table 1-1	The Japanese Olympic athletes in athletics from 2000 to 2012.
Table 4-1	Characteristics of the subjects (n=6).
Table 5-1	The competitions videotaped.
Table 5-2	Characteristics of the runners' groups.
Table 5-3	Group differences in the running speed at each phase.
Table 5-4	Group differences in the step length at each phase.
Table 5-5	Group differences in the relative step length / height at each phase.
Table 5-6	Group differences in the relative running speed at each phase.
Table 5-7	Means and standard deviations of the relative running speed at each section as an averaged race pattern of the 800m race.
Table 5-8	Means and standard deviations of the relative running speed at each section for the positive (POS), medium (MED) and negative (NEG) race patterns.
Table 6-1	Target competitions and the number of subjects.
Table 6-2	Characteristics and performance of 800m for subjects (n=9).
Table 6-3	Mean elapsed time, running speed and relative running speed for all subjects and relative running speed for the averaged race pattern from study-1.
Table 6-4	Parameters related to motion for the center of gravity at each mark in the 800m race.
Table 7-1	Parameters related to motion for the center of gravity.
Table 8-1	Seasonal best record of subject Y.
Table 8-2	Target time and elapsed time to the type of the model race pattern.

Table 8-3 Comparison of running velocity, step length and step frequency between maximum sprint, race running and experimental running in the study of Fukushima et al. (1997) and the present study.

図 一 覧

- Figure 1-1 The change in the world and Japanese national record for the men's 800 m middle distance.
- Figure 1-2 The sport science relating to the design of training for sprint running (Zushi, 2009).
- Figure 1-3 The structure of the sprinting motion (Zushi, 2009).
- Figure 2-1 Typical change in the running speed during 100m race (Graubner and Nixdorf, 2011).
- Figure 2-2 Typical change in the running speed during 400m race (Ferro et al., 2001).
- Figure 2-3 The change in the running speed during the distance events.
- Figure 2-4 Average running speed at each interval during world-record performances in 800m, 1-mile, 5000m, and 10000m races. (Tucker et al., 2009).
- Figure 2-5 The change in the running speed during 800m races (Sugita et al., 1994).
- Figure 2-6 Typical change in the running speed during men's 110m hurdles (Miyashita, 1991).
- Figure 2-7 Typical change in the running speed during 400m hurdles (Morioka et al., 2005).
- Figure 4-1 Camera positions and marks for the race analysis.
- Figure 4-2 Camera positions and videotaped areas for the motion analysis during the 800m race.
- Figure 4-3 The experimental set-up for the 600m and non-fatigued 80m running.
- Figure 4-4 Definition of the points and phases for the one running cycle.
- Figure 4-5 Definition of segment and joint angles.
- Figure 4-6 Definition of peak ground reaction forces.
- Figure 4-7 Definition of peak joint torque for the support leg.
- Figure 4-8 Definition of peak joint torque power for the support leg.
- Figure 5-1 Change in the running speed in the 800m race.

Figure 5-2 Correlation coefficients of average running speed in the 800m race to running speed at each section.

Figure 5-3 Changes in the step length (upper) and the step frequency (lower) in the 800m race.

Figure 5-4 Correlation coefficients of average running speed in the 800m race to the step length (upper) and step frequency (lower) at each section.

Figure 5-5 Change in the step length / height in the 800m race.

Figure 5-6 Change in the relative running speed in the 800m race.

Figure 5-7 Correlation coefficients of average running speed in the 800m race to relative running speed at each section.

Figure 5-8 Change in averaged relative running speed at each section during the 800m race.

Figure 5-9 Changes in averaged relative running speed at each section for the positive (POS, dashed line), medium (MED, solid line) and negative (NEG, dotted line) race patterns.

Figure 6-1 Change in mean relative running speed and averaged race pattern, study-1.

Figure 6-2 Changes in relative running speed for the typical subjects of the positive (POS, upper) and negative (NEG, lower) race pattern and the averaged positive and negative race pattern.

Figure 6-3 Means and standard deviations of running velocity, step length and step time at each mark in the 800m race.

Figure 6-4 Running velocity, step length and step time at each mark in the 800m race for subjects POS (▲) and NEG (■).

Figure 6-5 Average force during the support phase of subjects POS and NEG.

Figure 6-6 Averaged torso angle in one running cycle at each mark in the 800m race.

Figure 6-7 Means and standard deviations of thigh (upper), shank (middle) and foot (lower) angles in one running cycle at each mark.

Figure 6-8 Means and standard deviations of averaged angular velocity of thigh (upper), shank (middle) and foot (lower) at each phase in one running cycle at each mark.

Figure 6-9 Averaged angular velocity of thigh (upper) and shank (lower) at each phase one running cycle at each mark

for subjects POS and NEG.

Figure 6-10 Means and standard deviations of averaged hip joint torque (upper) and torque power (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark.

Figure 6-11 Means and standard deviations of averaged knee joint torque (upper) and torque power (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark.

Figure 6-12 Means and standard deviations of hip joint positive (upper) and negative work (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark.

Figure 6-13 Means and standard deviations of knee joint positive (upper) and negative work (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark

Figure 6-14 Averaged hip joint torque (upper) and torque power (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark for subjects POS and NEG.

Figure 6-15 Averaged knee joint torque (upper) and torque power (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark for subjects POS and NEG.

Figure 6-16 Hip joint positive (upper) and negative work (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark for subjects POS and NEG.

Figure 6-17 Knee joint positive (upper) and negative work (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark for subjects POS and NEG.

Figure 6-18 Averaged thigh and shank angular velocity during phase 8 at each mark.

Figure 7-1 Change in running speed in the 600m run.

Figure 7-2 Change in relative running speed for average of all subjects, subject D and F in the 600m run.

Figure 7-3 Means and standard deviations of running velocity, step length and step time.

Figure 7-4 Running velocity, step length and step time for subjects D (▲) and F (■).

Figure 7-5 Averaged torso angle in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-6 Means and standard deviations of thigh (upper), shank (middle) and foot angle (lower) at each event in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-7 Means and standard deviations of averaged thigh (upper), shank (middle) and foot angler velocity (lower)

at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-8 Averaged thigh (upper) and shank angler velocity (lower) at each phase in one running cycle for subjects D and F, in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-9 Horizontal component of peak ground reaction force (upper), average force (middle) and impulse (lower).

Figure 7-10 Vertical component of peak ground reaction force (upper), average force (middle) and impulse (lower).

Figure 7-11 Horizontal component of peak ground reaction force (upper), average force (middle) and impulse (lower) for subjects D and F.

Figure 7-12 Vertical component of peak ground reaction force (upper), average force (middle) and impulse (lower) for subjects D and F.

Figure 7-13 Means and standard deviations of averaged hip joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-14 Means and standard deviations of averaged knee joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-15 Means and standard deviations of averaged ankle joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-16 Peak hip joint torque (upper) and torque power (lower) of the support leg at each mark in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-17 Peak knee joint torque (upper) and torque power (lower) of the support leg at each mark in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-18 Peak ankle joint torque (upper) and torque power (lower) of the support leg at each mark in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-19 Means and standard deviations of hip joint positive (upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-20 Means and standard deviations of knee joint positive (upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-21 Means and standard deviations of ankle joint positive (upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-22 Averaged hip joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle

for subject D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-23 Averaged knee joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-24 Averaged ankle joint torque (upper) and torque power (lower) at phase 1 and 2 in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-25 Hip joint positive (upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-26 Knee joint positive (upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-27 Ankle joint positive work (upper) and negative work (lower) at phase1 and 2 in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Figure 7-28 Averaged patterns of segment angler velocity (left), resultant moment (center) and components of moment (right) at thigh (upper), shank (middle) and foot (lower) during the support phase.

Figure 7-29 Ground reaction forces (left) and the relationships between ankle joint velocity and torque (right) during support phase for each subject.

Figure 8-1 Change in the race pattern for subject Y from 2006 to 2009.

写真一覧

- Photograph 4-1 VTR images for the race analysis.
(upper: instant of the start; lower: the passing through the 400m mark)
- Photograph 4-2 The scene of the experiment. (upper: a pacemaker and a subject during the 600m run;
lower: measurement of the ground reaction force)

1. 諸 言

1.1 日本における陸上競技 800m 走の現状と課題

平成 23 年から施行されたスポーツ基本法において、「スポーツ選手の不断の努力は、人間の可能性の極限を追求する有意義な営みであり、こうした努力に基づく国際競技大会における日本人選手の活躍は、国民に誇りと喜び、夢と感動を与え、国民のスポーツへの関心を高めるものである」と、日本におけるスポーツ選手の競技力向上や国際的活躍の価値が認められている（文部科学省, 2011）. また、2020 年オリンピックの東京開催決定を受け、日本国民のスポーツへの興味、関心は今後いっそう高まることが予想される. このような時代背景の中、陸上競技においては、それを統括する日本陸上競技連盟が中長期的な視野に立った競技者育成プログラムを策定し、推進している（公益財団法人日本陸上競技連盟, 2013）. 表 1-1 は、競技者育成プログラムの中で示されている、2000 年から 2012 年までの 4 回のオリンピックにおける陸上競技の各種目の代表人数を示したものである. 種目別の合計人数をみると、男子では短距離種目が 36 名と最多で、次いで長距離種目・マラソン（20 名）、競歩（15 名）、ハードル種目（14 名）が多い. 女子では長距離種目・マラソン種目が 29 名と最多で、次いで短距離種目（10 名）が多い. ここで、代表人数が最も少ない種目は中距離種目と混成種目であり、男女それぞれわずか 1 名しか輩出されていないことがわかる. このことから、中距離種目は混成種目や跳躍種目、一部を除く投てき種目と並んで、競技力の底上げが必要な「抜本的強化種目」に位置づけられている（公益財団法人日本陸上競技連盟, 2013）. 図 1-1 は、男子 800m 走における 1930 年代から現在までの世界記録と日本記録の変遷を示したものである. 古くから両者の差は大きいですが、トラックの材質がタータンへ移行された 1968 年メキシコオリンピック以降 1970

Table 1-1 The Japanese Olympic athletes in athletics from 2000 to 2012.

		2000	2004	2008	2012	Total
		Sydney	Athens	Beijing	London	
Men	Sprints	9	10	8	9	36
	Middle-Distances	0	0	0	1	1
	Long-Distances, Marathon	5	5	6	4	20
	Hurdles	4	4	3	3	14
	Race Walks	4	2	3	6	15
	Jumps	5	3	2	1	11
	Throws	1	2	2	3	8
	Combined Events	0	0	0	1	1
	Subtotal	28	26	24	28	106
Women	Sprints	0	0	5	5	10
	Middle-Distances	0	1	0	0	1
	Long-Distances, Marathon	9	6	8	6	29
	Hurdles	1	0	0	2	3
	Race Walks	0	1	2	3	6
	Jumps	2	2	1	1	6
	Throws	0	2	0	1	3
	Combined Events	0	1	0	0	1
	Subtotal	12	13	16	18	59
ToTal		40	39	40	46	165

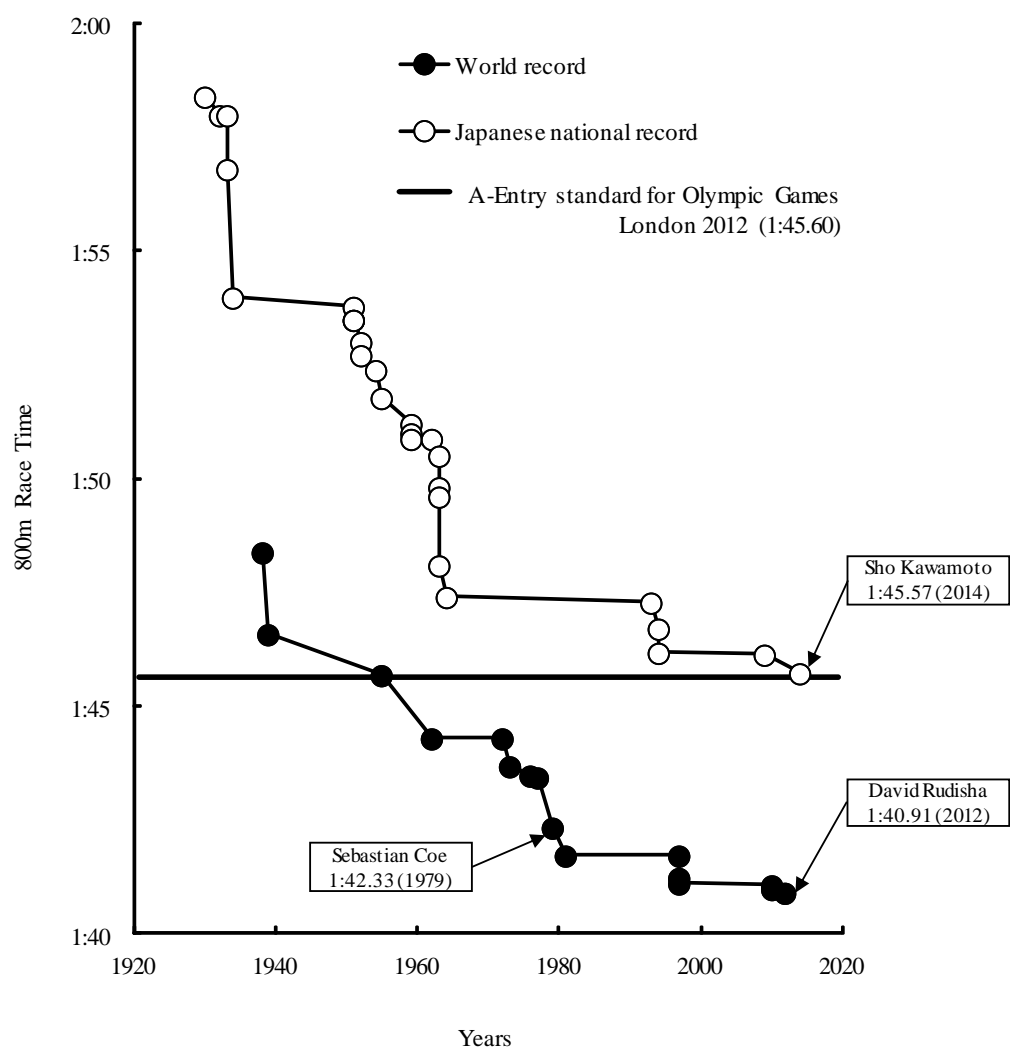


Figure 1-1 The change in the world and Japanese national record for the men's 800 m middle distance.

年～1980年代にかけて、イギリスの Sebastian Coe らの活躍により世界記録が大幅に更新され、その差はむしろ広がる傾向を示している。また、図中の実線は 2012 年ロンドンオリンピックの参加 A 標準記録（1 分 45 秒 60）を表しているが、現在の日本記録である 1 分 45 秒 75（川元 奨，2014）でようやく肉薄する水準に至っている。したがって、日本記録の更新および国際大会への出場は、日本の男子 800m 走における課題であると同時に、日本の陸上競技における課題でもあるといえる。

1.2 800m 走パフォーマンス向上におけるバイオメカニクスの研究の役割

1970 年～1980 年代に世界的に活躍したイギリスの Sebastian Coe は、中距離走において世界記録を合計 12 回も更新し、1980 年、1984 年オリンピックの 1500m 走において 2 連覇、800m 走において 2 度の銀メダル獲得を達成している。また、1981 年にマークした 800m 走の世界記録 1 分 41 秒 73 は、16 年間破られることがなかった。Sebastian Coe のこのような活躍の背景には、彼の父親でコーチでもあった Peter N. Coe と運動生理学者 David E. Martin によるスポーツ科学、特に運動生理学とコーチングを融合した取り組みがあったことが、著書に記されている（Martin and Coe, 1997）。このことは、スポーツ科学に基づいたコーチングやトレーニングが、中距離走のパフォーマンス向上にとって有効かつ重要であることを示唆している。

中距離走パフォーマンスに関する研究は、これまで主に運動生理学や体力学的な観点から数多く行われてきた。その結果、中距離走パフォーマンスは有酸素性および無酸素性運動能力など、様々な生理学的要因の相互関係によって決まることや（Brandon, 1995 ; Duffield and Dawson, 2003）、同じ記録水準であっても選手によって体力的特性が多様であることが明らかとなっている（山下ら，1991 ; 永井ら，1993 ; 平野ら，1998 ; 大庭ら，1999 ; 森丘ら，2003）。また、中距離選手には、スピ

ード、筋力、パワー、持久力、柔軟性、技術、戦術などのあらゆる要素が要求され、これらをバランスよく向上させることが重要であると考えられている (Martin and Coe, 1997 ; Sunderland, 2005) .

上述の Sebastian Coe は、異なる様々なペースでの走トレーニングを、年間を通して計画的に配分する ‘Multi-Pace Training’ や、主要な競技会に向けたトレーニング計画を目的の異なるいくつかの段階に分けて構成し、走トレーニング、筋力トレーニング、柔軟性トレーニングなどの様々なトレーニングを、その段階に応じて配分や組み合わせを変えながら実施し、バランスよくパフォーマンスを向上させていく ‘Multi-Tier Training’ という考え方に基づいてトレーニングを行っていたという (Martin and Coe, 1997) . これらのことから、中距離走パフォーマンス向上にとって重要なことは、パフォーマンスが最大化されることを前提とし、選手それぞれの特性を活かしながら、中距離選手に求められる様々な要素をバランスよく向上させるようにトレーニングすることであるといえよう.

さらに、中距離走パフォーマンスには様々な要素が相互に関連しているのであれば、中距離走パフォーマンスに関する研究も、運動生理学や体力学的視点のみならず、様々なスポーツ科学的視点から検討がなされるべきであり、スポーツバイオメカニクスもその一つとなり得るであろう.

図子 (1999, 2006, 2009) は、スポーツトレーニングを効果的に推進していくための第一条件として、スポーツ運動構造を明らかにすることを挙げている. これは、スポーツ運動を構造的な要素に分類し、それぞれの局面の技術的要因とそれに必要な運動能力や体力的要因を細分化し、スポーツ運動の設計図を構築するという考え方である. その際には、スポーツ運動構造の設計に関係する運動生理学、バイオメカニクス、運動学等の様々なスポーツ科学的側面から得られた知見や情報を集約することにより、1つの構造体としてシステムアップし設計図を構築していく (図 1-2) . 図 1-3 は、この考え方に基づいて作成された 100m 走に関する運動構造について示したものである (図子,

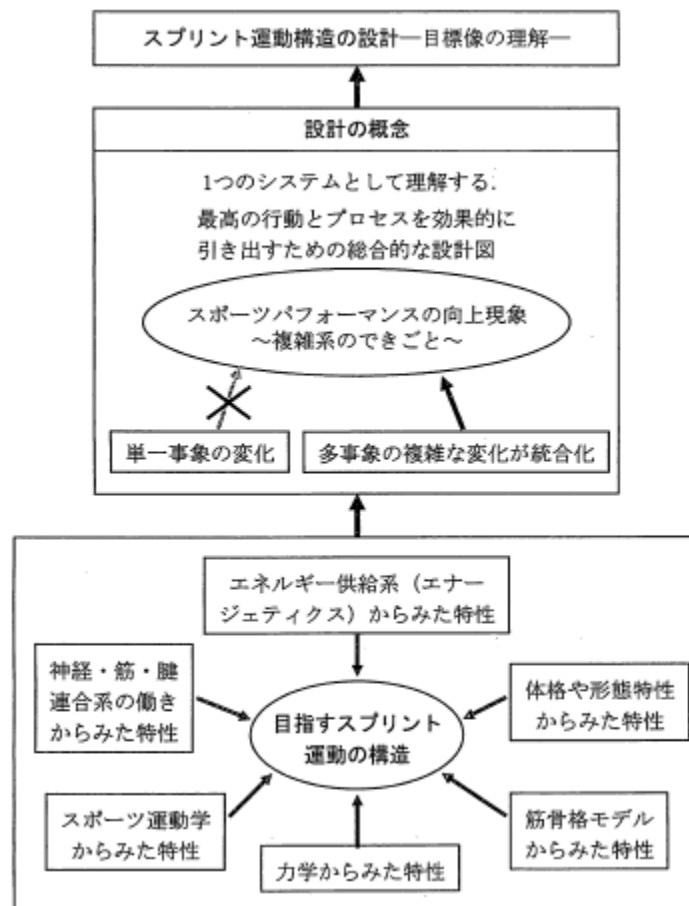


Figure 1-2 The sport science relating to the design of training for sprint running (Zushi, 2009).

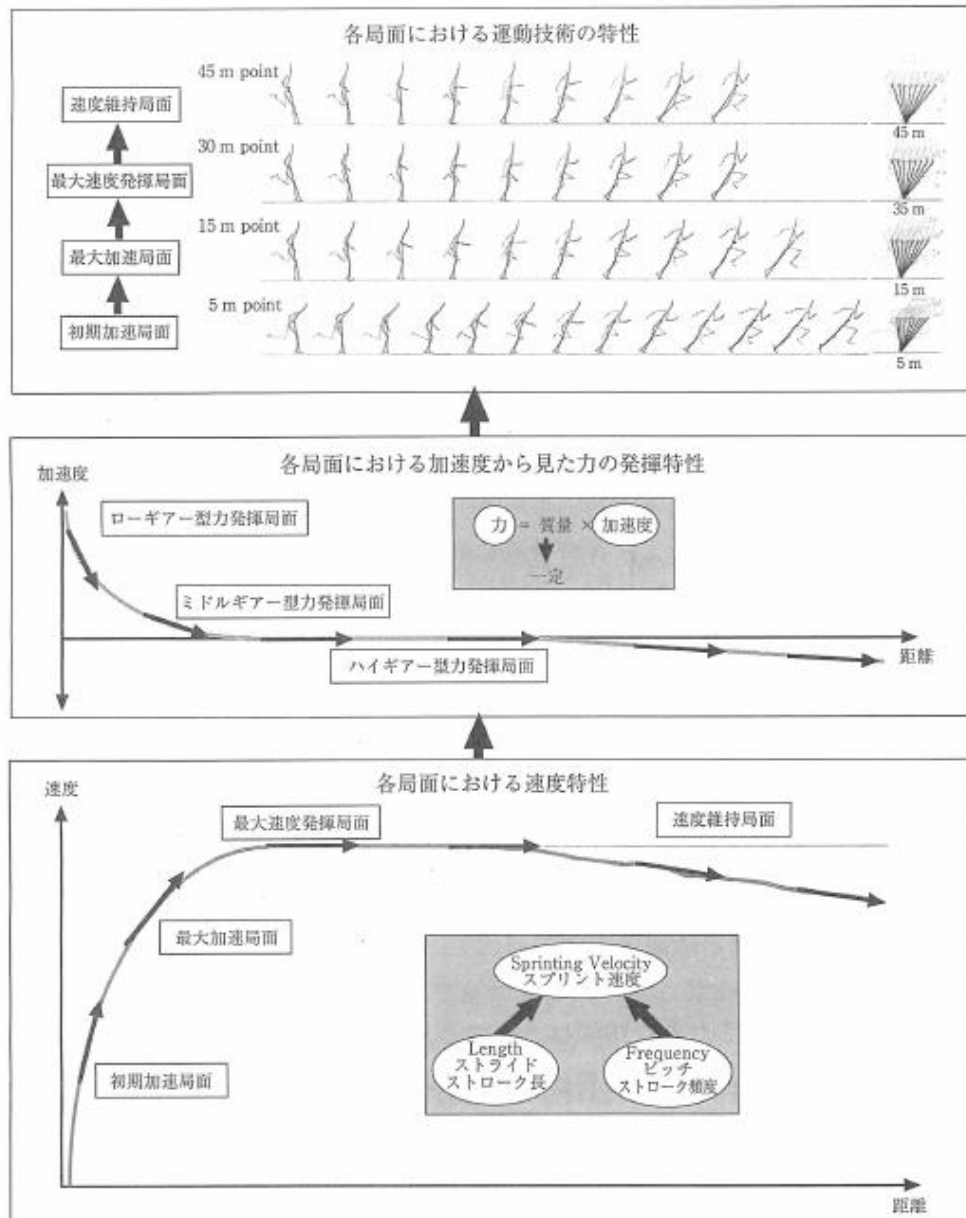


Figure 1-3 The structure of the sprinting motion (Zushi, 2009).

2009). レース中の走速度の変化パターン (以下, レースパターン) から, 100m 走全体が 4 つの局面 (初期加速局面, 最大加速局面, 最大速度発揮局面, 速度維持局面) に細分化され (下段), 各局面の加速度特性 (中段) や, 動作および地面反力の発揮特性 (上段) が示されている. これからわかるように, 100m 走の運動構造は, 主にバイオメカニクス的研究により得られた知見が基になって構築されており, バイオメカニクス的研究が極めて重要な役割を果たしている. すなわち, まずレースパターンの研究によって 100m 走の全体像を把握するとともにレースの局面分けがなされ, 次にその局面に応じた走動作のキネマティクスおよびキネティクス的研究によって技術的要因やそれに必要な体力的要因が検討されている. そして, 現場ではこれらの知見をもとにしてトレーニングやコーチングが行なわれている. 100m 走の例にみられるバイオメカニクス的研究による運動構造の解明からトレーニング, コーチングへの示唆を得るまでのこの様な一連の過程は, 800m 走を含む他の競走種目にも応用できると考えられる. したがって, 800m 走においても, まずレースパターンの特徴を明らかにし, 次にそれに基づいた走動作の特徴をバイオメカニクスの的に明らかにする必要があると考えられる.

2. 文献研究

2.1 レースパターンに関するバイオメカニクス的研究

2.1.1 レースパターンの特徴に関する研究

「速さ」を競う競技種目において、競技中に発揮するスピードやパワーを調整するいわゆるペース配分が、パフォーマンス（記録や順位）に大きな影響を及ぼす。選手やコーチ、研究者の間では、よりよいパフォーマンスを求めて、選手が出し得る全エネルギーをフィニッシュまでに使い切るための効果的なペース配分を模索し、究明する試みが行なわれてきた。陸上競技の競走種目においては、レース中の走スピードの変化や通過タイムを分析し、その特徴を明らかにするレースパターン研究が数多く行なわれてきた。

100m 走における走スピードは、図 2-1 に示したように、一般にスタート後に急激に増大して 50～60m 付近で最大に達し、その後フィニッシュにかけて僅かに減少するような変化パターンとなる（阿江ら，1994；松尾，2001；松尾ら，2010；Graubner and Nixdorf，2011）。そして、この変化パターンから 100m 走ではレース全体を加速局面，最高走スピード局面，減速局面などの局面に分けて考えられ，記録水準の高い選手ほど加速局面が長く最高走スピードが大きいことや，走スピードの減少が小さいことなどが明らかとなっている（阿江ら，1994；松尾，2001；松尾ら，2010）。Abbas and Laursen（2008）は，ランニング，競泳，ボート競技，スキー，スピードスケート，自転車競技などの様々な競技種目や運動時間におけるペース配分について総括している。そこで，30 秒以内という非常に短い運動時間の競技種目においては，加速局面がパフォーマンスに極めて大きく影響するため，スタート後に急激に加速してその後スピードやパワーが漸減していく‘All-Out’型のペース配分

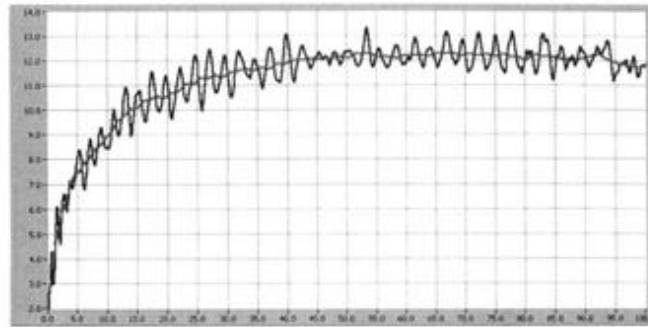


Figure A: Momentary velocity vs location for Usain Bolt in the men's 100m final at the 2009 IAAF World Championships in Athletics

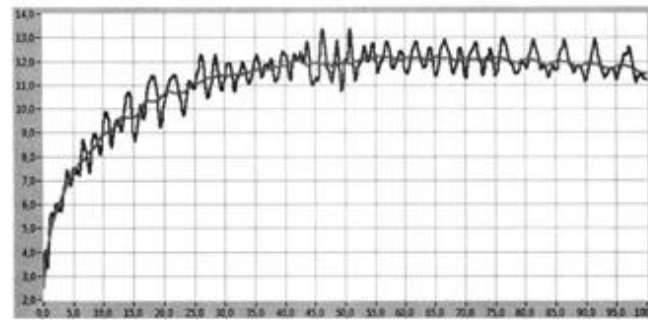


Figure B: Momentary velocity vs location for Tyson Gay in the men's 100m final at the 2009 IAAF World Championships in Athletics

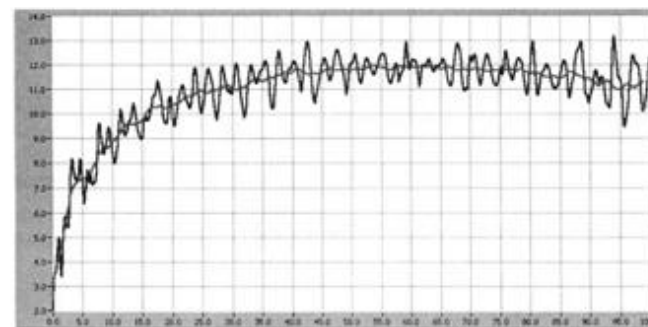


Figure C: Momentary velocity vs location for Asafa Powell in the men's 100m final at the 2009 IAAF World Championships in Athletics

Figure 2-1 Typical change in the running speed during 100m race (Graubner and Nixdorf, 2011).

が適していると述べている.

400m 走における走スピードは, 図 2-2 に示したように, 一般に 50~100m 区間において最高スピードに達した後, フィニッシュにかけて漸減するような「への字型」の変化パターンとなる (Ferro et al., 2001 ; Hanon and Gajer, 2009 ; 持田と杉田, 2010 ; Graubner and Nixdorf, 2011 ; 山元ら, 2013). そして, 記録水準の高い選手ほどレース中盤において大きな走スピードを維持していることや (山元ら, 2013), ステップ長が大きいことなどが明らかとなっている (Hanon and Gajer, 2009 ; 持田と杉田, 2010). Abbas and Laursen (2008) によると, 運動時間が 90 秒から 2 分のいわゆる中距離競技種目においては, 上位者や熟練した競技者は‘Positive Pacing’ (序盤において大きなスピードやパワーを発揮し, フィニッシュにかけて漸減していくようなペース配分のこと) を採用している傾向にあることから, 中距離競技種目においては‘Positive Pacing’が適していると述べている. 400m 走の運動時間は男子では 60 秒未満であるため, 最適なペース配分としては‘All-Out’から‘Positive Pacing’の間に相当すると考えられる. このように, 短距離走においては, 一流選手だけでなく幅広い記録水準の選手のデータや研究結果から, 各水準におけるレースパターンの特徴や記録との関係などが明らかにされている.

長距離走においては, 世界選手権やアジア大会において一流選手のレースパターン分析が行なわれてきた (松尾ら, 1994 ; 杉田ら, 1997 ; Enomoto et al., 2008 ; 榎本ら, 2010). 図 2-3 は, 3 つの先行研究 (松尾ら, 1994 ; Enomoto et al., 2008 ; 榎本ら, 2010) において分析された長距離レースにおける上位者の走スピードの変化を示したものである. 走スピードは, レース序盤から中盤ではレースによって多様な変化を示し, ラストのスピードアップは共通してみられる. これは, 長距離走では短距離走とは異なり, 最大下走スピードで競走が行なわれるために走スピードの自由度が大

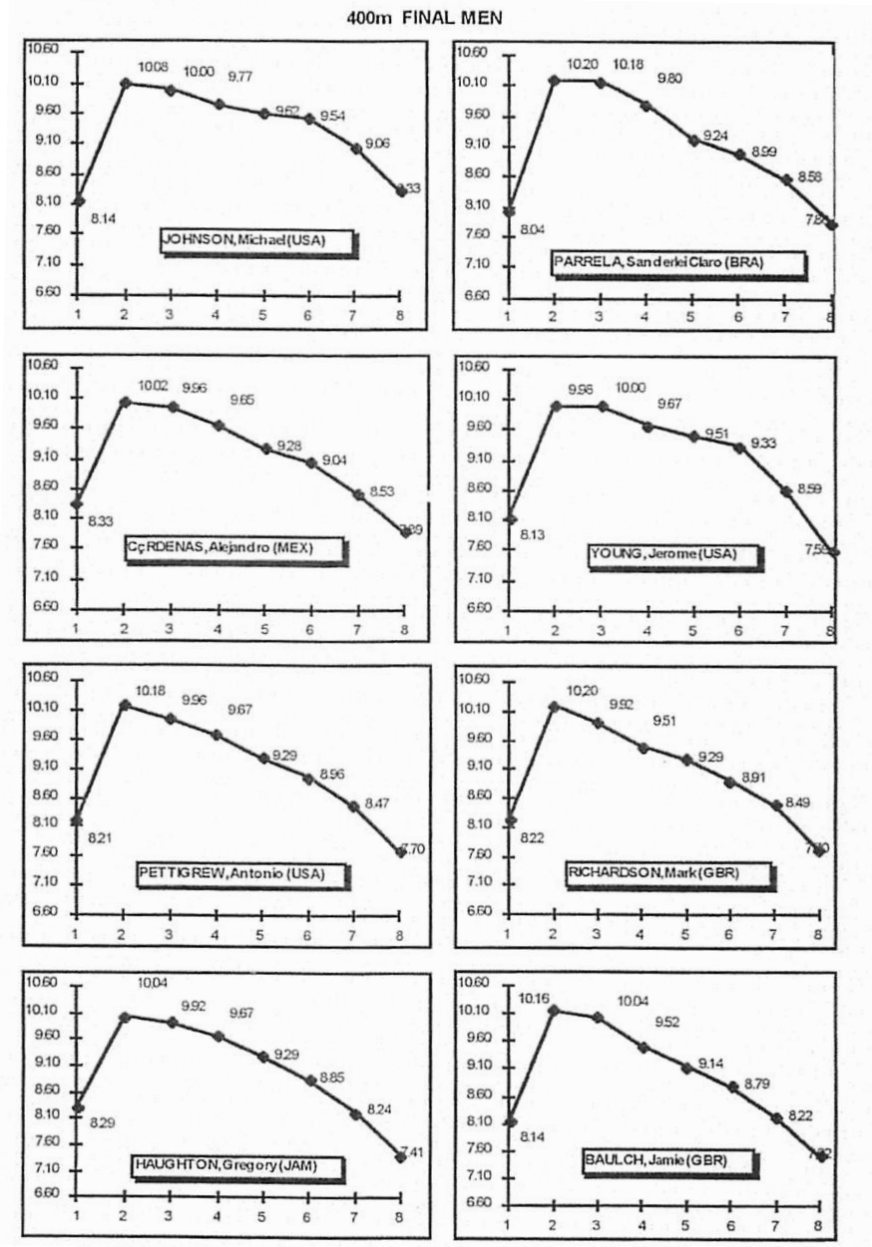


Figure 2-2 Typical change in the running speed during 400m race (Ferro et al., 2001).

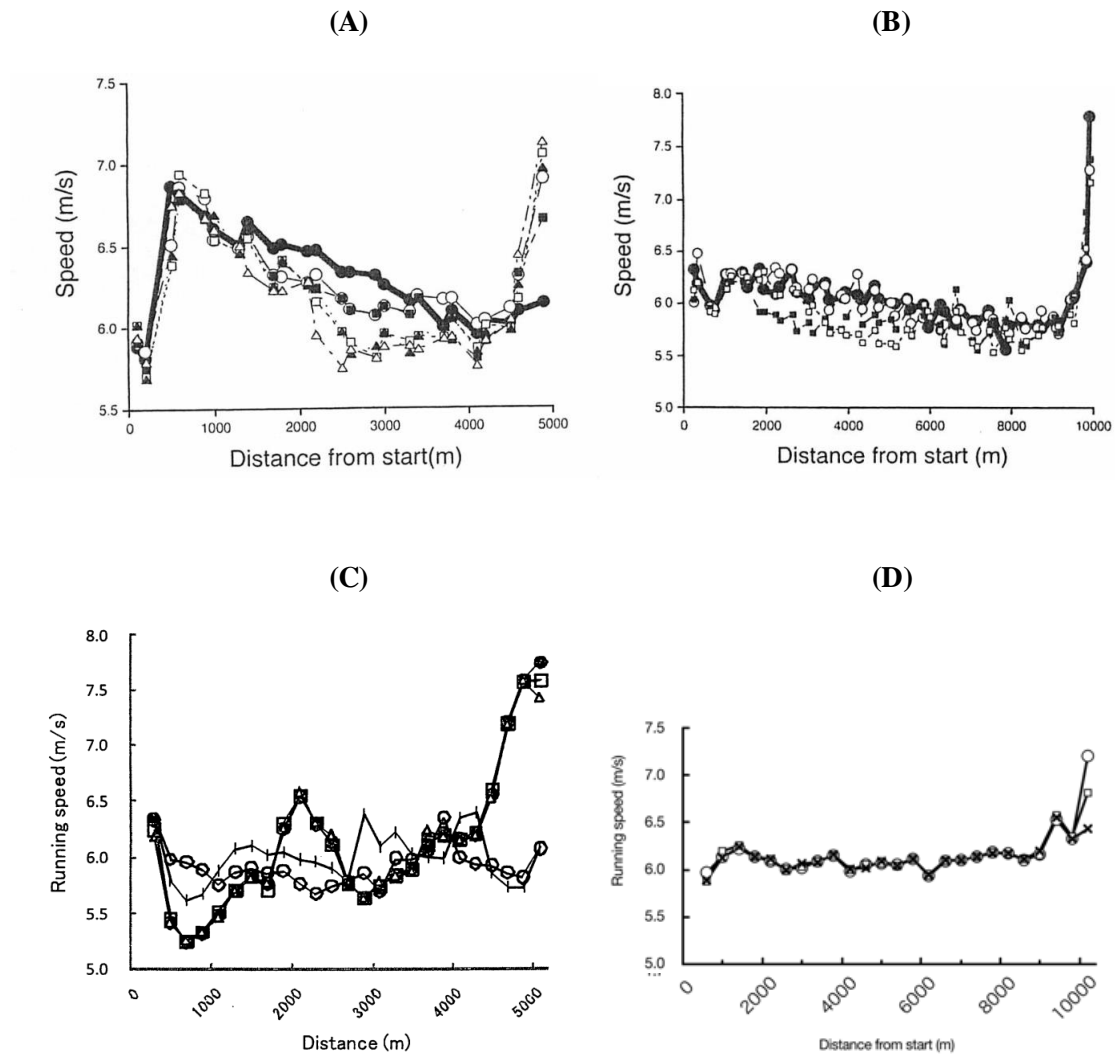


Figure 2-3

The change in the running speed during the distance events.

(A) Men's 5000m Final in the 3rd IAAF World Championships in Athletics (Matsuo et al., 1994)

(B) Men's 10000m Final in the 3rd IAAF World Championships in Athletics (Matsuo et al., 1994)

(C) Men's 5000m Final in the 11th IAAF World Championships in Athletics (Enomoto et al., 2010)

(D) Men's 10000m Final in the 11th IAAF World Championships in Athletics (Enomoto et al., 2008)

きく、また運動時間が長いためにレースパターンが多様性を示すことを表している。このような特徴をもつ長距離走において、Tucker et al. (2006) が男子 5000m および 10000m の世界記録レースにおけるペース配分について調査している。図 2-4 は、Tucker et al. (2006) の研究における、800m 走、1 マイル走、5000m 走および 10000m 走の世界記録レースにおける走スピードの変化を示したものである。5000m 走および 10000m 走とも、レース序盤ではわずかに速いものの、中盤まではほぼ一定の走スピードが維持され、ラスト 1km において大きく増大していたことを明らかにしている。吉岡ら (2005) は質問紙調査や歴代の世界記録および日本記録のデータを集計し、5000m 走において記録水準 12 分台から 17 分台の男子選手 337 名の自己最高記録時のペース配分について検討している。その結果、記録水準の高い選手は最初の 1km が相対的に遅く、そのままほぼイーブンペースでレースを進めてラスト 1km で大きくスピードアップするレースパターンを示し、一方記録水準の低い選手は最初の 1km が相対的に速く、レース中盤において走スピードが減少していたことを明らかにしている。また、Abbas and Laursen (2008) は、運動時間が 2 分以上の種目においてよい記録を得るためには‘Even Pacing’が適していると述べている。このように、レースパターンが多様性を示す長距離走においても、一流選手のレースパターンの特徴だけでなく、記録とレースパターンとの関係が明らかにされている。

中距離走においては、世界選手権やアジア大会、日本選手権、全国高校総体などにおいてレースパターン分析が行なわれてきた (松尾ら, 1994 ; 杉田ら, 1994 ; 松尾ら, 1997 ; 門野ら, 2010)。図 2-5 は、杉田ら (1994) の事例研究における 800m レース中の走スピードの変化を示したものである。概観すると、A ではレース後半で各選手のばらつきが大きく、B では優勝者のみスタートからフィニッシュに向かって漸減するパターンを示し、C では U 字型のパターンを示し、D ではレース全体

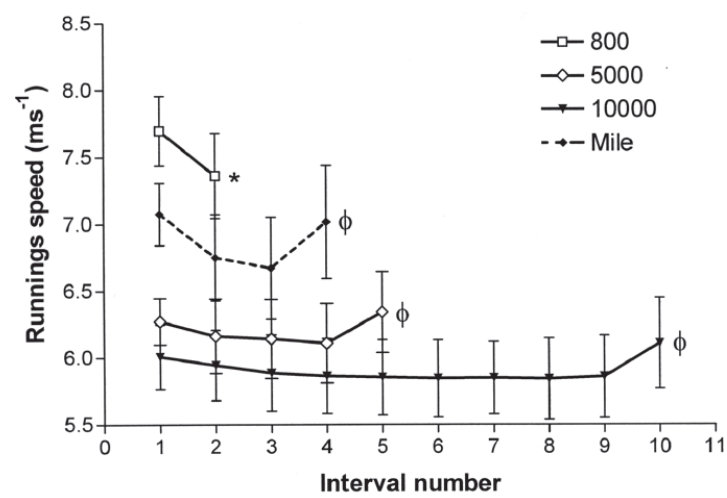


Figure 2-4 Average running speed at each interval during world-record performances in 800m, 1-mile, 5000m, and 10000m races. (Tucker et al., 2009).

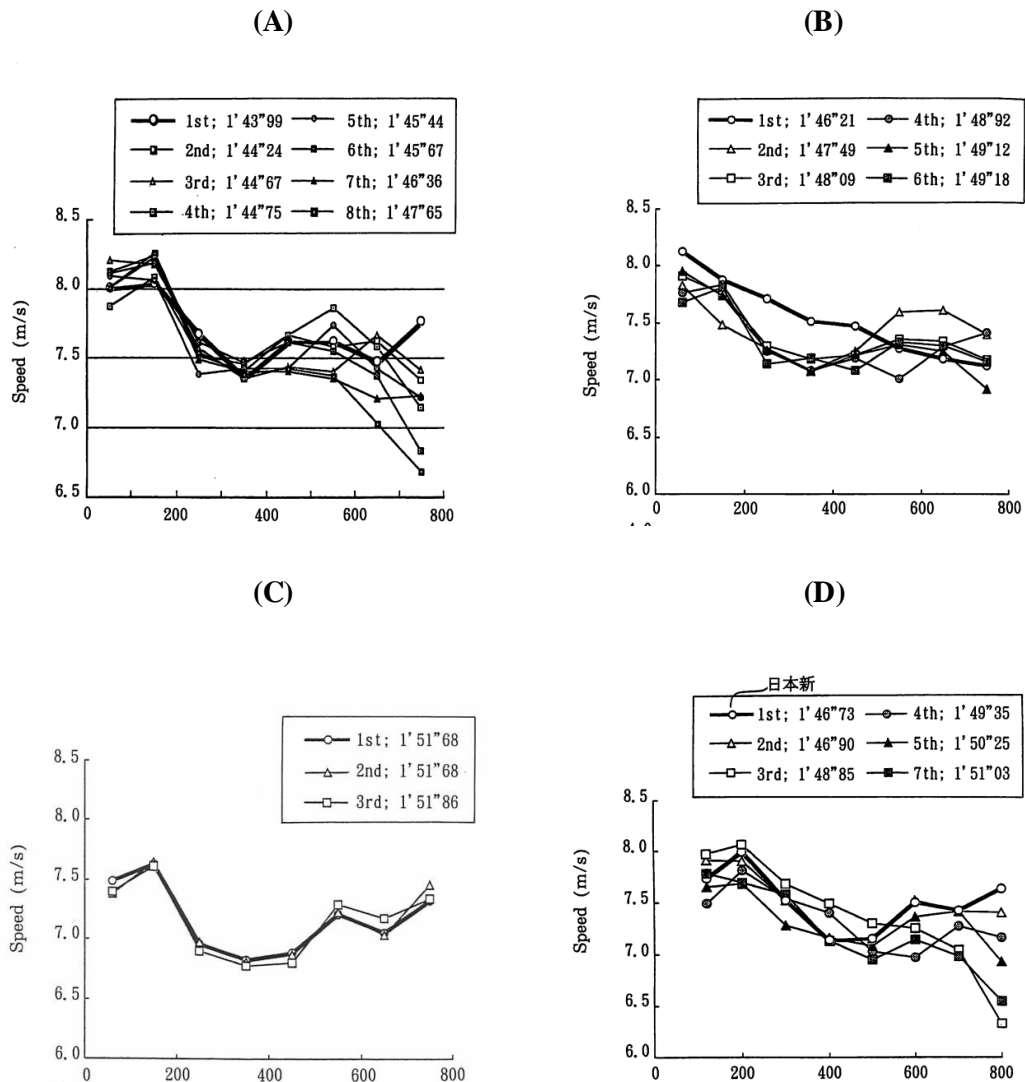


Figure 2-5

The change in the running speed during 800m races (Sugita et al., 1994).

(A) Men's 800m Final in the 3rd IAAF World Championships in Athletics

(B) Men's 800m Final in the 77th Japan Track and Field National Championships

(C) Men's 800m Final in 1994 All Japan High School Athletic Meet

(D) Men's 800m Final in the 78th Japan Track and Field National Championships

を通して大きくばらついていて、これらの例から、800m 走ではレースによってパターンが異なることや、同じレースの中でも選手によってパターンが大きく異なる場合があることがわかり、800m 走も長距離走と同様に、レースパターンが多様性を示すことを表している。このようにレースパターンが多様性を示す 800m 走においても、一流選手を対象に記録水準とレースパターンとの関係が検討されている。榎本ら（2005）は、世界と日本の一流選手のレースパターンを比較し、日本一流選手のレースパターンの課題について検討している。その結果、世界一流選手と日本一流選手の走スピードの差は、0～120m 区間と 500～600m 区間において大きく、700～800m 区間において最も小さかったことなどを明らかにしている。これらは、極めて高い水準における記録とレースパターンとの関係を明らかにしたものであり、特に日本の一流選手にとっては有益な知見であるといえる。しかし、これらの知見が記録水準の異なる選手にも当てはまるかどうかは不明である。Tucker et al.（2006）は、800m 走における過去の世界記録のペース配分を調査している。そこで、800m 走では 1 周目のラップタイムの方が 2 周目より短い‘Positive Pacing’であったことを明らかにしている（図 2-4）。しかし、これは 800m を前半と後半の 2 つに分けて大まかに考察されたものであり、図 2-5 のように多様性を示す 800m 走のレースパターンの特徴を明らかにするには、より詳細に分析する必要がある。また、800m 走と同じ中距離種目である 1 マイル走においては、5000m 走や 10000m 走と同様にレース中盤における一定走スピードの維持や終盤における増大がみられることから（図 2-4）、ちょうど 800m 走と 1 マイル走を境にレースパターンの特徴が異なっていることがわかる（Tucker et al., 2006 ; Noakes et al., 2009）。これらのことから、800m 走のレースパターンの特徴について明らかにするためには、他の競走種目と同様に記録水準の異なる選手を対象に記録とレースパターンとの関係について検討する必要があると考えられ、その際にはレース前半と後半の大まか

な分析だけでなく、より詳細に分析する必要があるだろう。

2.1.2 レースパターンのモデル化および類型化に関する研究

短距離走やハードル走においては、レースパターンの研究によって明らかとなった一般的な特徴や記録との関係をもとにして、レースパターンのモデル化や類型化が試みられている。

100m 走において、阿江ら（1994）は第3回世界陸上競技選手権大会東京大会の男子 100m 走に出場した選手のレースパターンを分析し、その走スピードの変化パターンとステップ長およびステップ頻度の変化パターンを、定性的にそれぞれ3つのパターンに類型化し、各パターンの特徴を整理している。さらに、各 구간タイムとレース記録との直線回帰式や、各 구간の平均ステップ長と身長との直線回帰式から、目標記録に対する各 구간のタイム、ステップ長およびステップ頻度を推定している。そして、これらによりトレーニングでの具体的な到達目標を見積もることができると述べている。

男子 110m ハードル走における走スピードは、図 2-6 に示したように、一般に第3ハードルから第4ハードルの間（第3インターバル）で最高走スピードに達した後、第9ハードルから第10ハードルの間（第9インターバル）までは漸減し、第10ハードルからフィニッシュの間で再び増大するような変化パターンとなる（宮下，1991a；宮下，1993；森田ら，1994；柴山ら，2010）。ハードル走では、ルールによって規則的に定められたハードルを越えながら走るという種目特性を利用し、現場ではハードリングの着地時のタイム（タッチダウンタイム）が計測されている。宮下（1993）は、110m ハードル走のレース記録が12秒台から16秒台までの選手152名のタッチダウンタイムを調査し、各タッチダウンタイムとレース記録との直線回帰式から、モデルタッチダウンタイムの推定を

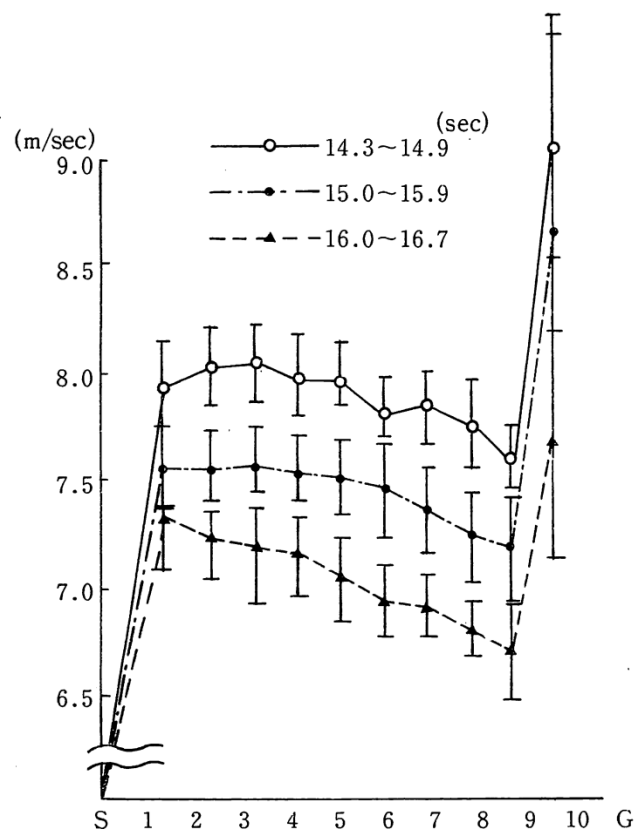


Figure 2-6 Typical change in the running speed during men's 110m hurdles (Miyashita, 1991).

試みている。このモデルタッチダウンタイムは、選手の技術の評価、レースの戦術やトレーニング法を考案する際に活用されている。400mハードル走における走スピードは、図2-7に示したように、一般に第1ハードルから第2ハードルの間で最高走スピードに達した後、フィニッシュにかけて漸減するような変化パターンとなる（宮下，1991b；森田ら，1994；森丘ら，2005；森丘ら，2010）。そして、記録のよい選手は歩数が少なく、レース序盤で得た走スピードを第2ハードルから第8ハードルまでのレース中盤においてできるだけ減少させないパターンで走っていることなどが明らかとなっている。森丘（2006）は、第8ハードルまでの走り方を基準に400mハードル走のレースパターンの類型化を試み、「ハイペース維持型」、「ハイペース低下型」、「イーブンペース型」の3つのパターンに分類している。さらに、それぞれのパターンについて、目標記録を達成するための目安となるモデルタッチダウンタイムを算出している。また、世界一流400mハードル選手が、最適なレースパターンを模索する過程において、モデルを活用した事例も報告されている（森丘と山崎，2008）。

このように、レースパターンのモデル化によって、レースパターンを改善する上での目標値や選手の技術の評価するための基準値を得ることができ、またレースの戦術やトレーニング法を考案する際の資料としての活用が可能となることから、現場にとって非常に有益な知見や情報を提供することができる。また、レースパターンの類型化によって、これらの知見や情報を、選手の特性に応じて使い分けることが可能となる。したがって、800m走においても記録水準の異なる選手のレースパターンを分析し、記録とレースパターンとの関係を明らかにすることができれば、よい記録を出すためのモデルレースパターンの提示や、レースパターンの類型化を行なうことができると考えられる。

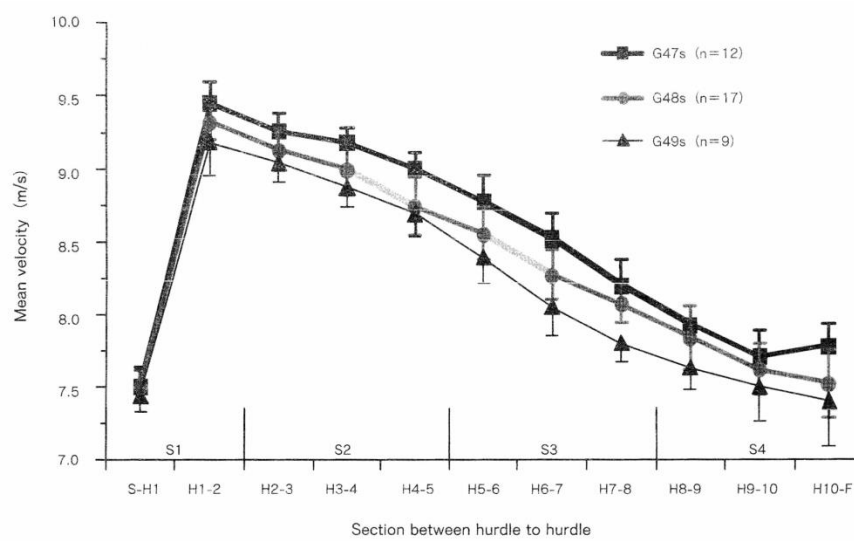


Figure 2-7 Typical changes in the running speed during 400m hurdles (Morioka et al., 2005).

2.2 走動作に関するバイオメカニクスの研究

2.2.1 レース中の走動作に関するバイオメカニクスの研究

これまで、短距離走においては、レース中の走動作に関する研究が非常に多く行なわれている。

例えば 100m 走においては、スタート局面（伊藤ら，1994；斉藤ら，1997；貴嶋ら，2010）や最高走スピード局面（宮下ら，1986；伊藤ら，1994；佐川ら，1997；伊藤ら，1998；福田ら，2010；矢田ら，2011）を中心に走動作の研究が行なわれている。また，100m 走は直走路を 1 人ずつレーンに分かれて疾走するので，実験的にレースを再現し易いことから，実験によってスタート局面や加速局面（伊藤ら，1997a；馬場ら，2000；小林ら，2009；篠原と前田，2013），最高走スピード局面（Vardaxis and Hoshizaki，1989），減速局面（中野ら，1991；岩井ら，1997；遠藤ら，2008）の動作について検討した研究や，100m 走全体を通した動作の変化に関する研究（森丘ら，1997；羽田ら，2003）なども行なわれている。そして，これらの知見をもとにスプリント走能力向上への示唆が引き出され（阿江，2001），バイオメカニクスデータを活用した走動作の改善も試みられている（中田ら，2003）。

長距離走においては，短距離走のように単に大きな走速度を発揮するだけでなく，レース全体にわたってそれを効果的に維持することも重要である。榎本（2004a）はこの観点に基づき，5000m 選手を対象に，大きな走速度を獲得しそれを維持するための技術について，キネマティクスおよびキネティクス，エナジェティクスの観点から総合的に検討している。そして，長距離技術に関する基礎的知見（榎本，1999；榎本，2008）や長距離走動作の評価の観点（榎本，2006a）が明らかとなり，動きの指導やトレーニングへの示唆が得られている（榎本，2006b）。

800m 走においては，短距離走や長距離走に比べて走動作に関する研究が少ない。レース中の走動作に関する研究では，戸谷（1997）が，日本人 800m 選手 34 名と世界一流選手 1 名の計 35 名の 350m

地点および 550m 地点の走動作を分析し、その変化について検討している。その結果、550m 地点にかけて走スピードの変化に関係なくほとんどの選手においてステップ頻度が増大し、体幹が起き、大腿が身体の前方で動くようになったことを明らかにしている。また、走スピードが増大した者は離地後の回復脚のリカバリー開始が早くなり、走スピードが減少した者はその開始が遅くなったと述べている。その他、事例研究として、世界一流男子 800m 選手 2 名の 550m および 750m 地点（門野ら，2010），世界一流女子 800m 選手 1 名の 740m 地点（Skof and Stuhec，2004），アジア一流女子 800m 選手 2 名の 350m 地点（湯と田，1997），日本一流女子 800m 選手 2 名の 170m および 570m 地点（榎本ら，2002），日本高校女子 800m 選手 2 名の 350m および 550m 地点（門野ら，2006）の走動作の特徴について検討したものなどがある。このように、800m 走の走動作に関する研究は少ないばかりでなく、研究によって分析対象とする選手の記録水準や性別、分析地点が異なるために比較が難しく、断片的な知見しか得られていない。したがって、明らかとなった特徴が、800m 走パフォーマンスに対してどのような意味を持つのか不明確であり、800m レース中の走動作の特徴はほとんど明らかにされていないといえるだろう。

その他、実験的に 800m 走を行なわせ、走動作を分析した永井ら（1988）の研究がある。永井らは、中距離走を専門とする男子大学生 11 名に 800m 走を行なわせ、中間疾走時（350m 地点）およびラストスパート時（750m 地点）の走動作を比較し、中間疾走局面とラストスパート局面における走動作の特徴について検討している。その結果、ラストスパート時において走スピードが増大した者はステップ頻度が増大し、走スピードが減少した者はステップ頻度が減少したことを明らかにしている。また、ラストスパート時において走スピードが増大した者は脚が身体の前方で動くように変化し、走スピードが減少した者は脚が身体の後方で動くように変化したと述べている。しかし、

この時どのようなペース配分で行なわれたかについては示されていない。上述したように 800m 走はレースパターンが多様であるため、走動作はレースパターンの影響を受けると考えられる。したがって、800m 走動作について検討する際には、レースパターン、すなわち走スピードの変化と関連づけて検討する必要があるだろう。

100m 走の走動作に関する先行研究を概観すると、レースパターンの研究によって 100m 走の全体像を把握するとともにレースの局面が定義され、そしてその局面に応じて走動作の研究が行なわれていることがわかる。したがって、緒言でも述べたように、明らかとなった走動作の知見が、100m 走全体の中でどこに位置付けられ、どのような意味をもつかが明確となっている（図子，2009）。短距離走の先行研究と 800m 走の先行研究との大きな違いは、800m 走ではレースパターンの特徴が明らかとなっていないまま、レースの一部分の動作について断片的にしか分析が行なわれていない点である。したがって、まず上述のレースパターンの特徴を明らかにしたのちに、走動作の特徴について詳細に検討していく必要があると考えられる。また、レース中の動作分析では疾走中の地面反力を計測できないため、疾走において重要な地面反力や支持脚キネティクスの特徴については明らかにできない。したがって、これらについては、実験的に検討して明らかにする必要がある。

2.2.2 疲労の影響による走動作の変化に関する研究

競走種目のレース後半においては疲労が生じ、その影響によって走動作も変化する。そして、選手はその疲労に抗するようにスピードやパワーの維持に努めている。

淵本ら（1988）は、800m 走を専門とする男子大学生 3 名に 800m 走を行なわせ、150m 地点および 780m 地点の走動作および筋電図を計測し、走スピード減少の要因について検討している。その

結果、走スピードの減少に対してステップ頻度よりステップ長の方が減少率は大きく、ステップ長の減少は滞空期距離の減少によるものであったこと、離地後の回復脚膝関節の屈曲角度が減少し、大腿の前方への拳上（腿上げ）が減少したことなどを明らかにしている。また、走スピードの減少に伴って、股関節屈曲および伸展、膝関節屈曲トルク、トルクパワー、仕事量が減少したと述べている。筋電図については、走スピードの減少にともなう顕著な変化はみられなかったと述べている。

Hayes and Caplan（2012）は男女中距離選手 181 名のレース中の接地の仕方と支持期時間について調査している。その結果、男子 800m 選手（71 名）では、50%の選手が中足部接地、35%の選手が前足部接地、15%の選手が踵接地を行っていたこと、支持期時間はレース後半において増大したことを明らかにしている。

800m 走における疲労の影響による走動作の変化について検討した研究は、以上のように極めて少ないが、レースパターンが類似した‘Positive Pacing’となる 400m 走においては、多くの研究が多く行なわれている（Bates and Osternig, 1977 ; Mero et al., 1988 ; Chapman, 1982 ; Sprague and Mann, 1983 ; 伊藤ら, 1997b ; 尾縣ら, 2003 ; Hobara et al., 2010）。

キネマティクスの観点からは、Bates and Osternig（1977）、Chapman（1982）および伊藤ら（1997b）が検討している。Bates and Osternig（1977）は、女子短距離選手 12 名の 4×400m リレーにおける 169m 地点および 370m 地点の走動作を分析している。その結果、370m 地点ではステップ長が有意に減少し、ステップ頻度は変わらないが支持期時間が増大して非支持期時間が減少していたことを明らかにしている。Chapman（1982）は、女子短距離選手 5 名に実験的に 400m 走を 3 回行なわせ、100m 地点と 380m 地点の走動作を比較している。その結果、380m 地点ではステップ長およびステップ頻度が有意に減少し、支持期時間が有意に増大していたことを明らかにしている。また、非支持期時

間は 5 名中 4 名において増大していたと述べている。伊藤ら（1997b）は、第 12 回広島アジア大会男子 400m 決勝進出者 8 名および男子大学生 5 名の 400m レース中の走動作を分析し、レース前半と後半の走動作を比較している。分析地点は、150m 地点および 350m 地点であった。その結果、350m 地点において、走速度、ステップ長およびステップ頻度が有意に減少し、走速度の減少率とステップ長の減少率との間に有意な相関関係がみられたことを明らかにしている。また、体幹前傾角度が減少していたこと、回復脚大腿の前方への引き上げ角度が有意に減少していたこと、支持脚膝関節伸展角速度の最大値が増大していたことなどの特徴がみられたと述べている。しかし、疲労によってこのような変化が生じた原因については不明であると述べている。これらの研究結果から、400m 走では走速度の減少にともなってステップ長およびステップ頻度が減少し、支持期時間が増大することがわかる。

キネティクスの観点からは、Sprague and Mann (1983) および尾縣ら (2003) が検討している。Sprague and Mann (1983) は、100m から 800m 走を専門とする男子選手 15 名に実験的に 400m 走を行なわせ、40m 地点と 380m 地点の走動作を比較している。その結果、ステップ頻度が有意に減少し、支持期時間、特に支持期後半時間が有意に増大していたことを明らかにしている。また、身体重心の加速度から地面反力を推定し、支持脚膝関節および股関節のトルクを算出している。その結果、減速の小さかった選手では動きやトルクの変化が小さく、減速の大きかった選手では動きやトルクの変化が大きかったことを明らかにしている。そして、この結果から減速の大きかった選手は発揮トルクを調整する能力が劣っていると考察している。尾縣ら (2003) は、400m 走を専門とする男子大学生 11 名に 400m 走を行なわせ、160m 地点および 360m 地点の走動作を分析している。その結果、360m 地点において、走速度、ステップ長およびステップ頻度が有意に減少し、走速度の減少率とステッ

ブ頻度の減少率との間に有意な相関関係がみられたことを明らかにしている。また、回復脚股関節の屈曲および伸展角速度およびトルクが減少していたこと、膝関節の屈曲および伸展トルクが減少していたことを明らかにしている。さらに、走速度の減少率と股関節および膝関節の屈曲および伸展トルクの減少率との間に有意な相関関係がみられたことから、トルクを維持できる者ほど走速度を維持できると考察している。これらの研究結果から、400m 走の後半において走速度の減少に伴って股関節および膝関節トルクが減少することがわかる。また、走速度の減少が小さい選手ほどトルクの減少が小さい、すなわちトルクの維持に優れていることがわかる。

スティフネスの観点からは Hobara et al. (2010) が検討している。Hobara et al. (2010) は、男子選手 8 名に 400m 走を行なわせ、バネ - 質量モデルを用いて 400m 走中の鉛直スティフネスおよび脚スティフネスの変化について検討している。その結果、走速度および鉛直スティフネスは 50~100m 区間において最大に達した後フィニッシュにかけて漸減し、脚スティフネスは最初の 50m 区間において最大に達した後、次の区間以降は一定であったことを明らかにしている。そして、鉛直スティフネスと走速度およびステップ頻度との間に有意な相関関係がみられたことから、400m 走後半において走速度を維持するためには、大きな鉛直スティフネスを維持したまま、ステップ頻度を維持する必要があると考察している。また、その方法として、支持期の筋活動を増大させてパワーやエネルギーの吸収および発生を抑えることと、膝関節をより伸展させて接地することの 2 点の可能性を挙げているが、その検証にはさらなる検討の必要性を指摘していることから、疲労状態において走速度の維持するための技術については明らかとなっていない。

以上のように、400m 走においては多くの研究者がレース前半と後半の走動作を比較し、疲労の影響による走動作の変化について検討している。そして、①滞空期距離の減少によるステップ長の減

少、②支持期時間の増大によるステップ頻度の減少、③下肢関節トルクの減少などの変化がみられることがわかっている。上述したように、400m 走と 800m 走のレースパターンは共に‘Positive-Pacing’であるため、疲労の影響による走動作の変化には共通する部分もあると思われるが、相違点を含めて改めて検証する必要があるだろう。また、Wood (1987) は、疲労の影響による変化には、共通してみられる部分がある一方で個人内変動も大きく、またその変化が疲労の影響によるものなのか、単に速度が異なることによるものなのかを明らかにすることは難しいと述べている。Hayes and Caplan (2012) も、800m レース後半における支持期時間の増大に影響を及ぼした要因として、疲労と走速度の違いの 2 つ要因の可能性を挙げているが、これらの影響については不明であると述べている。これらの指摘のように、レース後半の走動作には間違いなく疲労の影響による変化が生じるが、その変化には疲労の影響と走速度の違いの影響の 2 つ要因が関係している。その中で、Williams et al. (1991) は、長距離走の疲労にともなう走動作の変化について明らかにするために、レース終盤の走動作と疲労のない状態で同じ走速度で疾走した時の走動作とを比較することにより、走速度の影響を取り除く工夫を行っている。したがって、疲労の影響について明らかにするためには、Williams et al. (1991) が行ったように走速度の影響を排除する工夫が必要であろう。さらに、先行研究では十分に検討されていない、疲労状態において走速度を維持するための技術についても検討する必要があるだろう。

3. 研究目的および研究課題

3.1 研究目的

本研究の目的は、男子 800m 選手の公式レースにおけるレースパターンおよび走動作の特徴を明らかにするとともに、疲労の影響による走動作の変化を明らかにし、疲労状態において走速度を維持するための技術を明らかにすることにより、800m 走パフォーマンス向上のためのトレーニングおよびコーチングへの示唆を得ることである。

3.2 研究課題

本研究の目的を達成するために以下の 4 つの研究課題を設定した。

研究課題 1

記録水準の異なる男子 800m 選手のレース中の走スピードの変化を分析し、その特徴を明らかにすることにより、記録とレースパターンとの関係について明らかにし、レースパターンのモデル化および類型化を行なう。

研究課題 2

800m レース中の走動作を分析し、研究課題 1 で明らかとなったレースパターンと走動作との関係について検討することにより、800m 走の平均的な走動作の特徴について明らかにする。

研究課題 3

疲労状態と疲労のない状態での走動作を比較し、疲労の影響による走動作の変化を明らかにし、
疲労状態において走速度を維持するための技術を明らかにする。

研究課題 4

研究課題 1 から 3 より得られた知見をもとに、800m 走パフォーマンス向上のためのトレーニング
およびコーチングへの示唆を得ること。

3.3 研究の仮定

本研究は以下の仮定のもとで行なわれた。

- ① 分析対象とした競技会において、選手は全力で競技を行なった。
- ② 動作分析の対象とした 1 サイクル (2 歩) の走動作は、走者の特徴を反映したものである。
- ③ 走動作は 3 次元的な運動であるが、矢状面内の 2 次元動作分析によって走動作の特徴を明らかにすることができる。
- ④ 身体の 2 次元座標の収集においては、分析者はデジタイズを習熟しているので、適切に収集できた。
- ⑤ 身体の各セグメントは剛体とみなすことができ、身体は 15 の部分からなる剛体リンクモデルとみなすことができる。
- ⑥ 阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて、身体部分の慣性特性を推定できる。

3.4 研究の限界

本研究には以下の限界がある．

- ① 競技会におけるデータは，ペース配分や戦術による影響を受ける．
- ② 競技会および実験走では，被験者の体調や気象条件の影響を受ける．
- ③ 3 次元的な動きや力については明らかにできない．
- ④ 関節トルクは，関節まわりの筋や結合組織などが発揮した正味のトルクである．
- ⑤ 本研究の分析対象者や被験者と記録水準が大きく異なる選手や女子選手に対して，本研究で得られた知見を適用する場合には注意が必要である．

4. 方 法

本研究では、まず 800m 走におけるレースパターンの特徴を明らかにするために、競技会において 800m レース全体を VTR 撮影し、レース分析を行なった（研究課題 1）。次に、レース中の走動作の特徴を明らかにするために、レース中における走動作を VTR 撮影し、動作分析を行なった（研究課題 2）。そして、疲労の影響による走動作の変化を明らかにするため、実験的に 800m レースペースでの 600m 走およびスプリント走を行なわせ、走動作を VTR 撮影するとともに地面反力を計測し、動作分析を行なった（研究課題 3）。

4.1 競技会におけるレース分析

4.1.1 データ収集

1994 年から 2013 年に行なわれた公認競技会における男子 800m レースにおいて、陸上競技場のスタンドから 1～2 台のビデオカメラを用いてレース全体をパンニング撮影した。図 4-1 はカメラ設置位置を示したものである。スタートピストルの閃光を撮影した後、選手を追従撮影した。なお、撮影スピードは 60 fields/s、露出時間はスタートピストルの閃光撮影時が 1/60 s、それ以降は 1/500～1/1000 s とした。

4.1.2 データ処理

撮影した VTR 画像（写真 4-1）から、選手が 120m 地点のブレイクライン、200m から 700m までは 100m ごとの地点（図 4-1）を通過した時間（通過タイム）を読み取った。

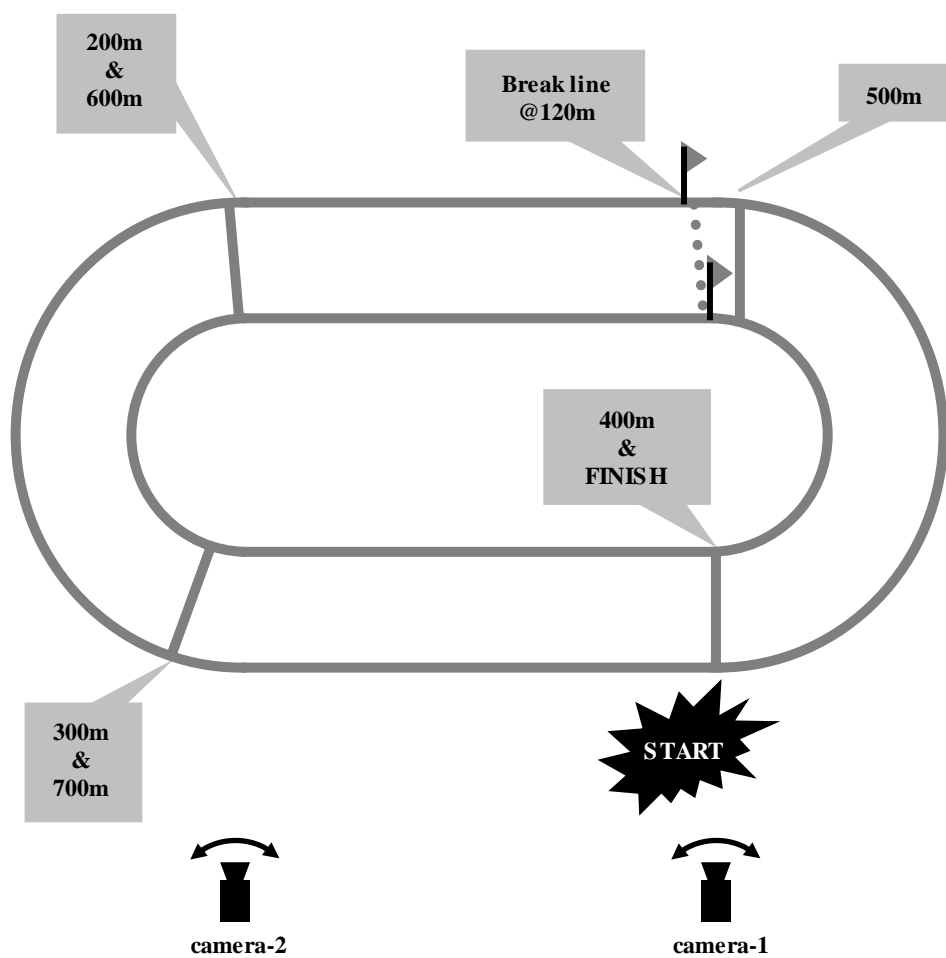


Figure 4-1 Camera positions and marks for the race analysis.



Photograph 4-1 VTR images for the race analysis.
(upper: instant of the start; lower: the passing through the 400m mark)

4.2 競技会における動作分析

4.2.1 データ収集

2010 年から 2013 年に行なわれた公認競技会における男子 800m レースにおいて、レースの 150m 地点、350m 地点、550m 地点、750m 地点の計 4 地点の走動作を分析するため、トラック第一および第二直走路中央付近の外側から、デジタルビデオカメラ（Casio, EX-FH25）を用いて選手の矢状面の走動作を VTR 撮影した。図 4-2 は、カメラの設置位置および撮影範囲を示したものである。カメラはトラック内側の縁石からできる限り離れた位置に設置し、高さ約 90cm の位置で光軸が撮影面に直交するように三脚に固定した。撮影スピードは 210 fields/s, 露出時間は 1/500~1/2000 とした。走動作の 1 サイクル（2 歩）を分析するため、撮影範囲は 7~8m とした。実座標に変換するための較正点として、縁石に 2~8m 間隔で目印を付けるか、または競技会の前後に縁石の長さを計測した。

4.2.2 データ処理

撮影した VTR 画像から、1 サイクル（2 歩）について、身体分析点 23 点をビデオ動作解析システム（ディケイエイチ, Frame-DIAS）を用いて 105 fields/s でデジタル化した。このとき、水平方向を X 座標、鉛直方向を Y 座標とした。デジタル化によって得られた座標データを、較正点間の距離をもとに実座標に換算した後、Winter（2004）の残差分析法により分析点の座標成分毎に最適遮断周波数を決定し、Butterworth low-path digital filter を用いて平滑化した。最適遮断周波数は、X 座標、Y 座標ともに 6.0~8.4 Hz であった。

得られた 2 次元座標をもとに、身体を左右の手、前腕、上腕、足、下腿、大腿および頭と体幹の計 14 部分からなる剛体リンクセグメントにモデル化し、阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて

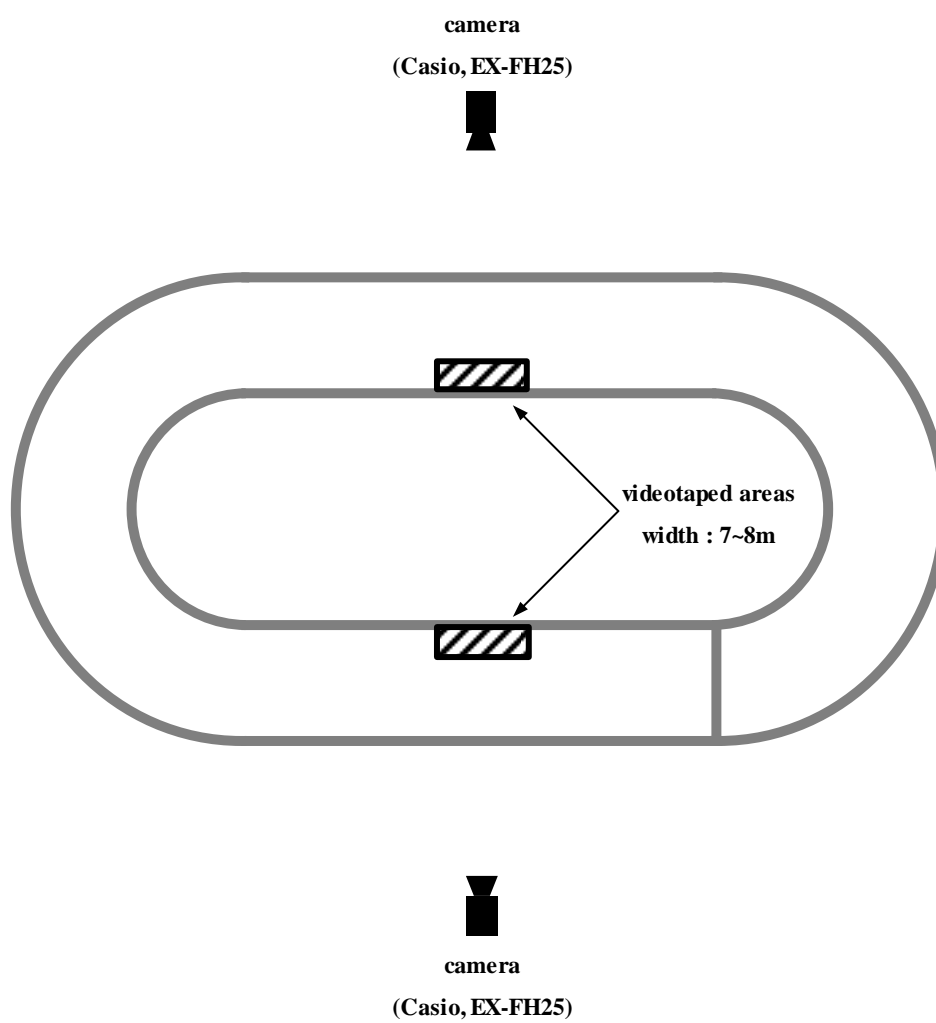


Figure 4-2 Camera positions and videotaped areas for the motion analysis during the 800m race.

部分および身体重心位置を算出した。

身体分析点，部分および身体重心位置を数値微分することにより，それぞれの速度および加速度を算出した。

4.3 600m 走実験における走スピードおよび動作分析

4.3.1 被験者および実験試技

被験者は男子 800m 選手 6 名とした。表 4-1 は被験者の特性を示したものである。実験に先立ち，被験者には実験の目的と内容，データの取り扱い等の説明した後，実験参加の同意を得た。なお，実験は筑波大学人間総合科学研究科倫理委員会の審査を経て承認を得た上で行なった。

実験試技は，陸上屋外トラックにおける 600m 走および疲労のない状態でのランニングの 2 つであった。実験は 2 日かけて行ない，1 日目に 600m 走，2 日目に疲労のない状態でのランニングを行なった。

1 つめの試技は，序盤で最高スピードを発揮してフィニッシュに向けて走スピードが漸減していくペース配分での 600m 走であった。800m 選手が 800m を全力で走り切る，すなわち全力でレースを 1 本走り切ることは身体的，精神的負担が極めて大きく，競技会以外において 800m を全力で走することはほとんどない。平野ら（2000）は，2 名の男子中距離選手を対象に，試合期における中距離走能力に影響を及ぼす生理学のおよびバイオメカニクスの要因について事例的に検討している。その中で，600m 走タイムを中距離走能力として定義し，トレーニングにおいて実施した 600m 走のタイムが最もよかった直後の競技会において，800m 走のシーズンベスト記録をマークしたと報告している。このことは，600m 走タイムが 800m 走タイム，すなわち中距離走能力を反映する 1 つの指

Table 4-1 Characteristics of the subjects (n=6).

		Mean	S.D.	Max.	Min.
Age	(years)	24.5	3.7	30	21
Height	(m)	1.77	0.06	1.83	1.68
Weight	(kg)	64.2	6.34	74.0	58.0
Personal best record	(min:sec.)	1:48.73	1.27	1:50.71	1:47.02
Seasonal best record	(min:sec.)	1:49.15	1.02	1:50.51	1:47.64

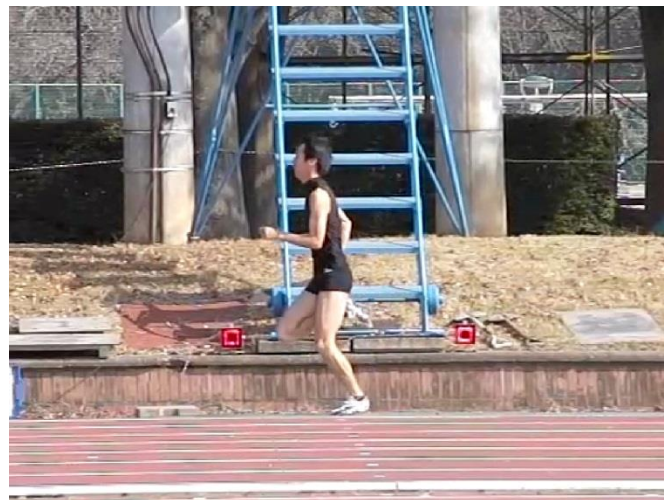
標になり得ることを示している。また、600m 走は 800m 選手が試合期に実施する代表的な専門的トレーニングの 1 つであり、実際に現場でも多くの選手が実施していると聞く。これらの理由から、600m 走は 800m 走パフォーマンスを反映するものであり、かつ被験者への身体的、精神的負担が比較的小さいと判断し、本研究では 600m 走を実験試技として採用した。

ペースメーカーとして自転車に先導させ、被験者にそれを追従させた（写真 4-2）。ペースは、第 5 章のレースパターンの類型化によって明らかとなった前半型のモデルレースパターンをもとにし、200m 地点を被験者の自己最高記録の約 23.8 %に相当するタイム、400m 地点を約 48.7 %に相当するタイムでそれぞれ通過するように設定した。ペースメーカーには、被験者が 200m および 400m 地点を設定タイムで通過するように先導させ、試技中には拡声器を用いて通過タイムを告知した。

2 つめの試技は、疲労のない状態でのランニングであった。走スピードは、全力および実験 1 日に実施した 600m 走の 550m 地点の走スピードに相当するスピードの 2 種類であった。

4.3.2 データ収集

図 4-3 は、実験設定を示したものである。600m 走は、陸上競技場の第 2 直走路 9 レーンの中央付近に埋設したフォースプラットフォーム上を、スタートから 150m および 550m で通過するようなコースを設定して行なった。疲労のない状態でのランニングは、30～50m の助走をとらせ、等速かつ自然なフォームを保ったまま計測範囲に埋設したフォースプラットフォーム上を通過させるようにして行なった。



Photograph 4-2 A scene of the experimental trial.
(upper: a pacemaker and a subject during the 600m run;
lower: measurement of the ground reaction force)

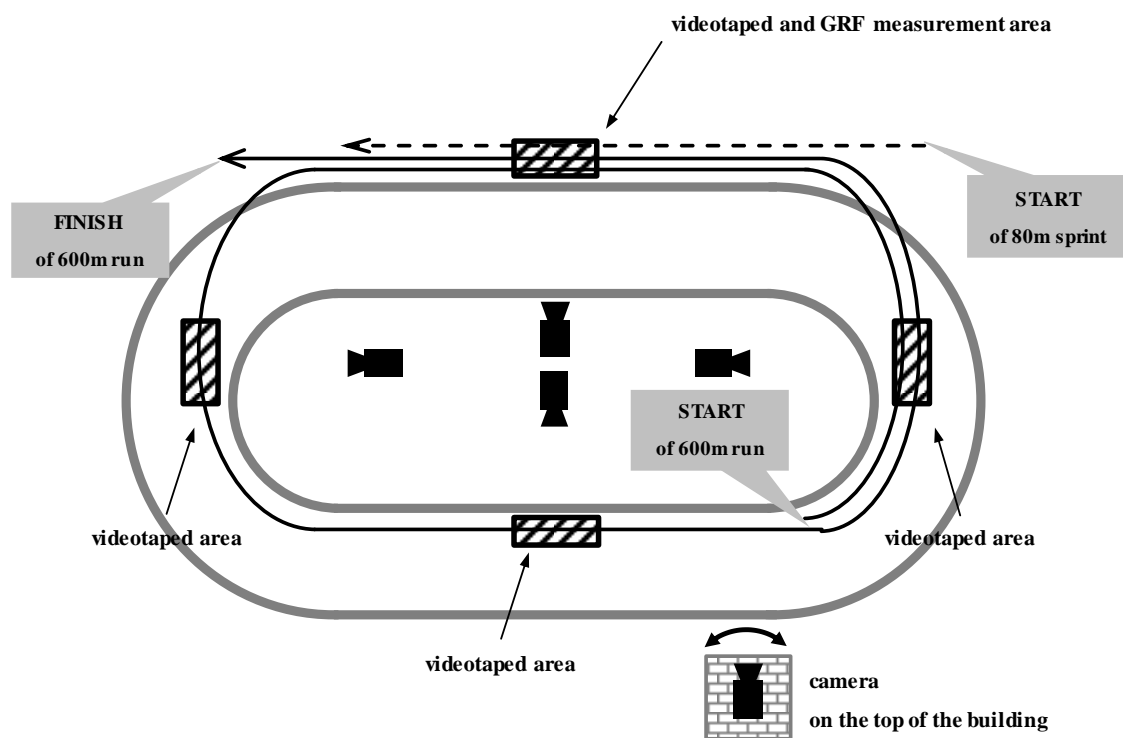


Figure 4-3 The experimental set-up for the 600m and non-fatigued 80m running.

4.3.2.1 600m 走中の走スピード分析のためのデータ収集

50m 毎の通過タイムを計測するために、600m 走コースのスタートから 50m 間隔でマークを設置した。陸上競技場全体が見渡せる建物の屋上から（図 4-3）、1 台のビデオカメラを用いて 600m 走全体をパンニング撮影した。スタートピストルの閃光を撮影した後、被験者を追従撮影した。なお、撮影スピードは 60 fields/s、露出時間はスタートピストルの閃光撮影時が 1/60 s、それ以降は 1/500 ～1/1000 s とした。

4.3.2.2 動作分析のためのデータ収集

600m 走の 150m 地点、250m 地点、350m 地点、450m 地点、550m 地点の計 5 地点および疲労のない状態でのランニングの走動作を分析するため、トラックの内側から、ビデオカメラを用いて選手の矢状面の走動作を VTR 撮影した（図 4-3）。ビデオカメラは、600m 走の 150m 地点、350m 地点および 550m 地点と、スプリント走の撮影には EX-F1（Casio 社製）を用い、600m 走の 250m 地点および 450m 地点の撮影には HSV-500C³（NAC 社製）を用いた。カメラはトラック内側の縁石からできる限り離れた位置に設置し、高さ約 90cm の位置で光軸が撮影面に直交するように三脚に固定した。撮影スピードは EX-F1 が 300 fields/s、HSV-500C³ が 250 fields/s、露出時間は 1/500～1/1000 s とした。走動作の 1 サイクル（2 歩）を分析するため、撮影範囲は 7～8m とした。実座標に変換するための較正点として地面に 7～8m 間隔でマークを設置し、実験試技に先立って撮影した。

600m 走の 150m 地点および 550m 地点と疲労のない状態でのランニングにおける地面反力を計測するために、3 枚のフォースプラットフォーム（Kistler 社製、9287B、0.9m×0.6m；Type9281A、0.6m×0.4m；9281C、0.6m×0.4m）を被験者の進行方向に直列に埋設し（総長 2.1m）、サンプリング

周波数 500Hz で計測した。VTR 画像と地面反力データを同期させるために、同期信号を地面反力データに取り込み、同時に LED ランプの発光を VTR 画像に映し込んだ。

4.3.3 データ処理

4.3.3.1 600m 走中の走スピード分析のためのデータ処理

撮影した VTR 画像から、被験者が 50m 毎の地点を通過した時間（通過タイム）を読み取った。

4.3.3.2 動作分析のためのデータ処理

上述の競技会における動作分析のためのデータ処理（4.2.2）と同様であるが、デジタイズは 150 fields/s にて行ない、600m 走の 250m 地点および 450m 地点は 125 fields/s で行なった。平滑化の最適遮断周波数は、X 座標、Y 座標ともに 6.0～7.5 Hz であった。

4.4 動作分析における時点および局面の定義

図 4-4 は、1 サイクルの局面分けを示したものである。1 サイクルを分析脚に着目して、接地時 (FC)、支持期中間 (MS)、離地時 (TO)、フォロースルー終了時 (FT)、逆足接地時 (CFC)、逆足支持期中間 (CMS)、逆足離地 (CTO)、フォワードスウィング終了時 (FS) の 8 つの時点を定義し、次の接地時 (FC) を含めた 9 つの時点によって区切られる 8 つの局面を定義した。ここで、支持期中間は支持脚の拇指球上を身体重心が通過した時点、フォロースルー終了時 (FS) は身体後方で分析脚の拇指球と身体重心との水平距離が最大となった時点、フォワードスウィング終了時は身体前方でそれが最大となった時点とした。また、局面 1, 2, 5 および 6 を支持期、局面 3, 4, 7, 8 を滞空期と

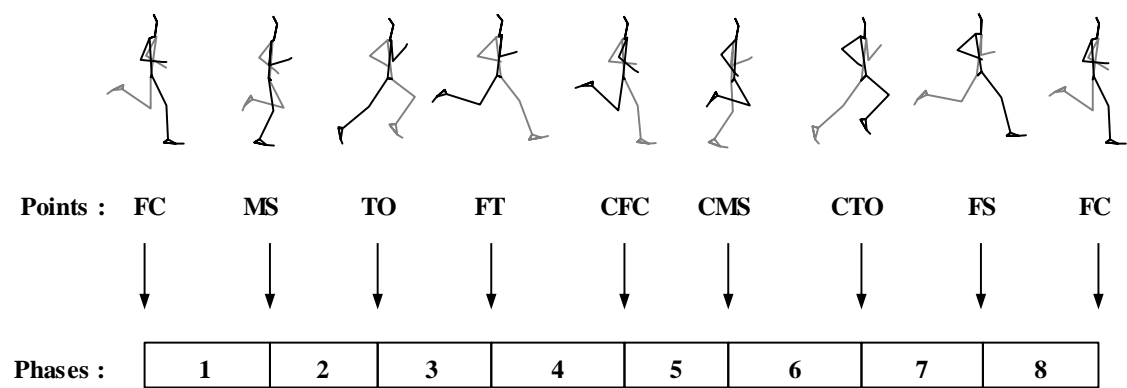


Figure 4-4 Definition of the points and phases for the one running cycle.

し、さらに支持期は支持期前半（局面 1 および 5）と後半（局面 2 および 6）に分けた。また、分析脚に着目して局面 3, 4, 5 を回復期前半、局面 6, 7, 8 を回復期後半とした。

4.5 算出項目および算出方法

4.5.1 レース分析における算出項目および算出方法

① 区間タイム

各地点の通過タイムから前の地点の通過タイムを引くことにより区間タイムを算出した。ただし、最初の区間タイムは 120m 地点の通過タイムとした。なお、600m 走実験における 50m 毎の通過タイムも同様に算出した。

② 走スピード

各区間の距離を区間タイムで除すことにより区間平均走スピード（以下、走スピード）を算出した。なお、600m 走実験における各 50m 区間の走スピードも同様に算出した。

③ 相対走スピード

各区間の走スピードをレースの平均走スピードで除すことにより各区間の相対走スピードを算出した。

④ ステップ頻度

各区間において 10 歩に要した時間を求めた後、1 歩あたりの平均時間を算出し、その逆数を算出

することによりステップ頻度を求めた。

⑤ ステップ長および身長比ステップ長

走スピードをステップ頻度で除することによりステップ長を算出した。ステップ長を身長で除することにより身長比ステップ長を算出した。

4.5.2 動作分析における算出項目および算出方法

① 走速度

1 サイクル中に身体重心が水平方向に移動した距離を、それに要した時間で除することにより走速度を算出した。

② ステップ長

1 歩で身体重心が水平方向に移動した距離とし、2 歩の平均値で算出した。さらに、支持期、支持期前半および後半、滞空期における身体重心の移動距離も同様に算出し、それぞれ支持期距離、支持期前半距離、支持期後半距離、滞空期距離とした。

③ ステップ頻度および各局面に要した時間

1 歩進むのに要した時間を求めた後に 2 歩の平均値を求め、その逆数をステップ頻度とした。さらに、支持期、支持期前半、支持期後半、滞空期に要した時間を同様に算出し、支持時間、支持期前半時間、支持期後半時間、滞空期時間とした。

④ 身体重心の上下動

接地時，身体重心最下点，離地時，身体重心最高点における身体重心高を算出し，接地時から身体重心最下点までの身体重心高変化を H1，身体重心最下点から離地時までを H2，離地時から身体重心最高点までを H3，身体重心最高点から接地時までを H4 とし，それぞれ 2 歩の平均値で算出した。

⑤ 接地角度および離地角度

接地時および離地時における身体重心の速度ベクトルが水平線となす角度をそれぞれ接地角度および離地角度とした。

⑥ 走速度の減速量および加速量

接地時と支持期中間，離地時と支持期中間における身体重心の水平速度の差をそれぞれ減速量 (DEC) および加速量 (ACC) とし，2 歩の平均値で算出した。

⑦ 支持期に対する滞空期の距離および時間の比率

支持期に対する滞空期距離の比率は，支持期距離に対する滞空期距離の割合として算出した。支持期に対する滞空期時間の比率は，支持期時間に対する滞空期時間の割合として算出した。

⑧ 支持期の平均力

支持期前半における水平方向の平均力 $\bar{F}_H 1$ を式 (1) により，支持期後半における水平方向の平均力 $\bar{F}_H 2$ を式 (2) により算出した．

$$\bar{F}_H 1 = \frac{m(V_{HMS} - V_{HFC})}{T_{FC-MS}} \quad (1)$$

$$\bar{F}_H 2 = \frac{m(V_{HTO} - V_{HMS})}{T_{MS-TO}} \quad (2)$$

支持期前半における鉛直方向の平均力 $\bar{F}_V 1$ を式 (3) により，支持期後半における鉛直方向の平均力を $\bar{F}_V 2$ を式 (4) により，支持期全体における鉛直方向の平均力 $\bar{F}_V W$ を式 (5) により算出した．

$$\bar{F}_V 1 = \frac{m(V_{VMS} - V_{VFC})}{T_{FC-MS}} - mg \quad (3)$$

$$\bar{F}_V 2 = \frac{m(V_{VTO} - V_{VMS})}{T_{MS-TO}} - mg \quad (4)$$

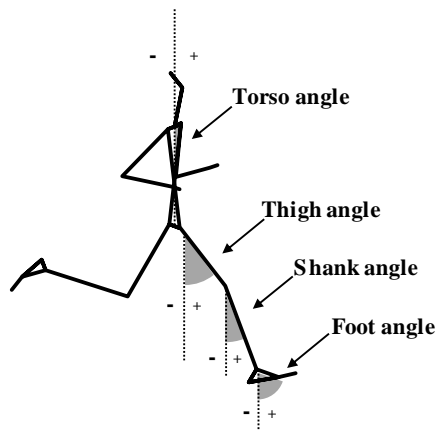
$$\bar{F}_V W = \frac{m(V_{VTO} - V_{VFC})}{T_{FC-TO}} - mg \quad (5)$$

ここで， m は身体質量， V_H は身体重心の水平速度， V_V は身体重心の鉛直速度， T は支持期時間， g は重力加速度（-9.81 m/s/s）， FC は接地時， MS は支持期中間， TO は離地時を表す．

⑨ 部分および関節角度

図 4-5 は，部分角度および関節角度の定義を示したものである．体幹，大腿，下腿および足角度

Segment angle



Joint angle

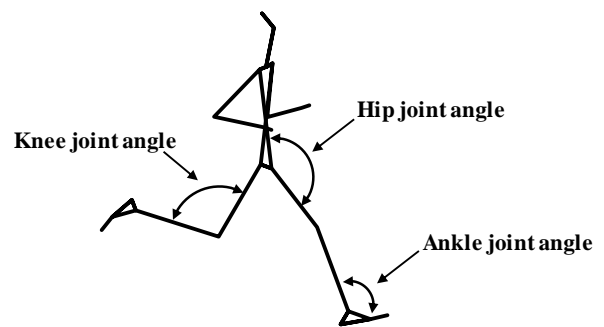


Figure 4-5 The definition of segment and joint angles.

は、それぞれ部分と鉛直線がなす角度として算出した。部分が鉛直線より前方に位置している場合を正、後方に位置している場合を負とした。股関節、膝関節、足関節は、それぞれ隣り合う部分との相対角度として算出した。

⑩ 部分および関節の角速度および角加速度

部分および関節角度を数値微分することにより、角速度および角加速度を算出した。

⑪ 地面反力のピーク値、平均力および力積

地面反力データは、座標データの X 方向を水平成分、Y 方向を鉛直方向とした。図 4-6 は地面反力のピーク値の定義を示したものである。水平成分については、支持期前半の第 1 (HPF1) および第 2 ピーク (HPF2)、支持期後半のピーク (HPF3) をそれぞれ定義した。鉛直成分については、接地直後の第 1 ピーク (VPF1) および支持期中間の第 2 ピーク (VPF2) をそれぞれ定義した。各成分を支持期前半および後半においてそれぞれ平均することにより、水平成分の支持期前半 (HAF1) および後半 (HAF2)、鉛直成分の支持期前半 (VAF1) および後半 (VAF2) の平均力を算出した。鉛直成分については支持期全体の平均力も算出した (VAFW)。また、各成分を支持期前半および後半においてそれぞれ時間積分することにより、水平成分の支持期前半 (HI1) および後半 (HI2)、鉛直成分の支持期前半 (VII) および後半 (VI2) の力積を算出した。鉛直成分については支持期全体の力積も算出した (VIW)。

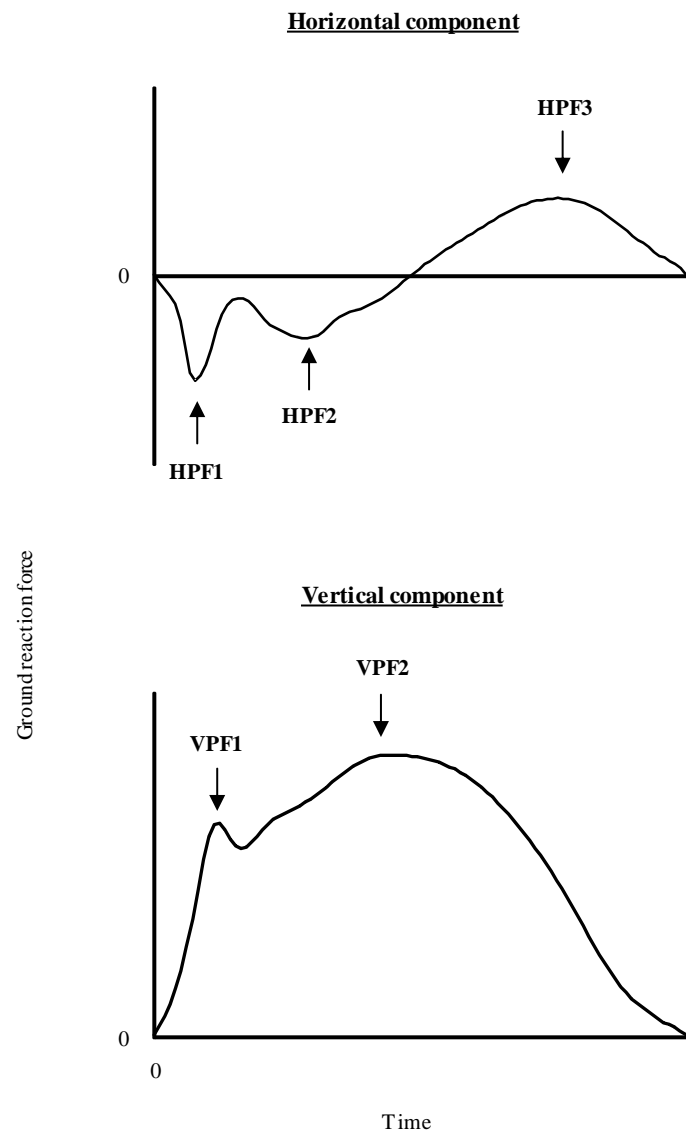


Figure 4-6 The definition of peak ground reaction forces.

⑫ 関節トルク

足関節、膝関節、股関節のトルクを算出するため、足、下腿、大腿、体幹を剛体と仮定し、各部分について式 (6) および (7) に示した運動方程式を立てた。

$$JF_d + JF_p + mg = ma \quad (6)$$

$$JT_d + JT_p + r_d \times JF_d + r_p \times JF_p = I \cdot \alpha \quad (7)$$

ここで、 m は部分質量、 a は部分重心の加速度、 JF_p は部分の近位端に作用する関節力、 JF_d は部分の遠位端に作用する関節力（足については地面反力）、 I は部分の慣性モーメント、 α は部分の角加速度、 JT_p は近位端に作用する関節トルク、 JT_d は部分の遠位端に作用する関節トルク（足についてはなし）、 r_p は部分の重心から近位端までの距離、 r_d は部分の重心から遠位端までの距離（足については足の重心から圧力中心まで）を示している。

これらを足、下腿、大腿の順に解くことにより、足関節、膝関節、股関節の関節トルクを算出した。なお、伸展および底屈が正、屈曲および背屈が負となるように符号の変換を行なった。

図 4-7 は支持脚の関節トルクのピーク値の定義を示したものである。股関節については（上段）支持期前半の伸展ピークトルク（PTH）、膝関節については（中段）支持期中間の伸展ピークトルク（PTK）、足関節については（下段）支持期中間の底屈ピークトルク（PTA）をそれぞれピーク値として定義した。

⑬ 関節トルクパワー

足関節、膝関節、股関節の関節トルクと関節角速度の積により、関節トルクパワーを算出した（式 8）。

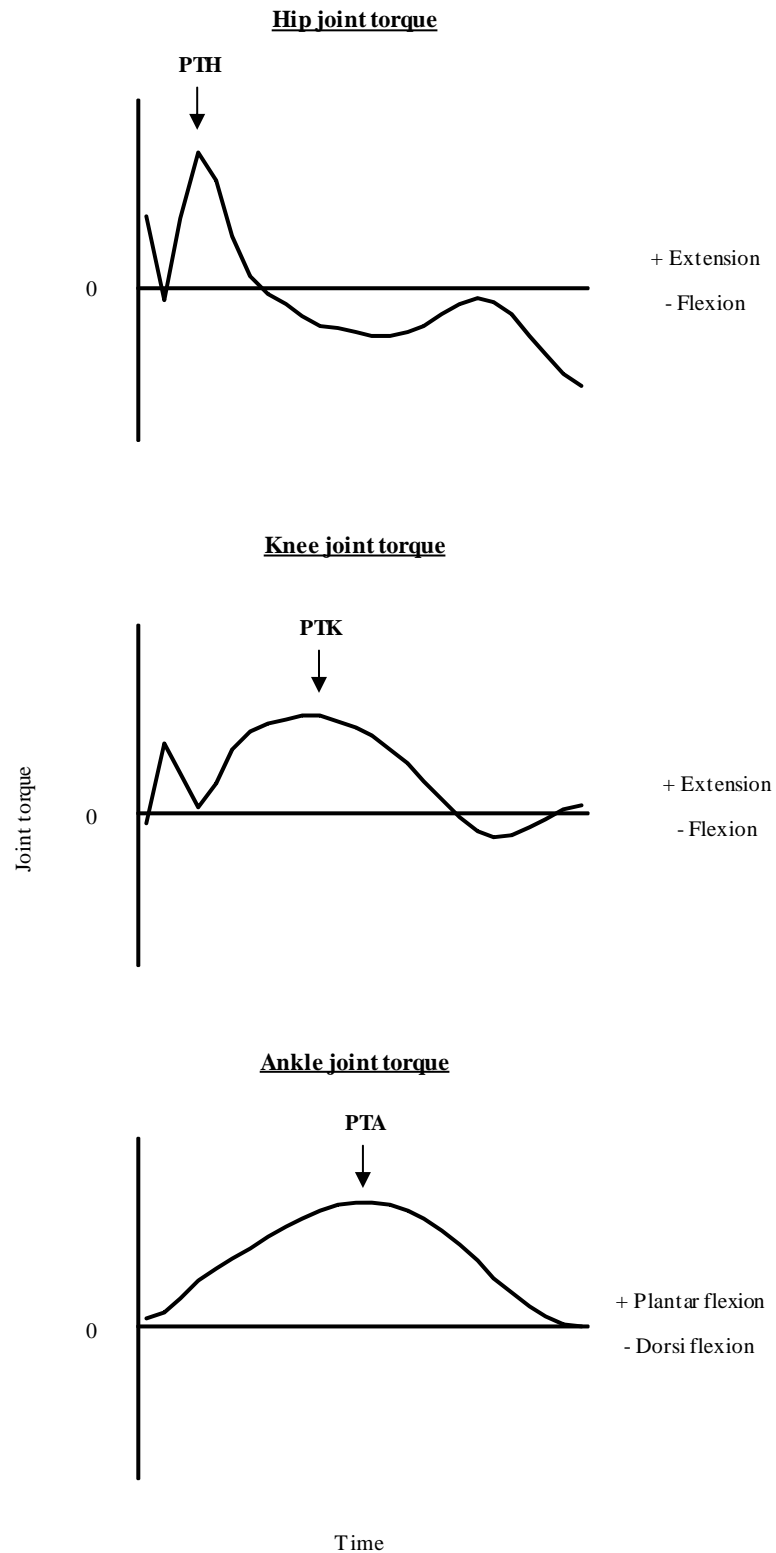


Figure 4-7 The definition of peak joint torque for the support leg.

$$JTP_j = JT_j \cdot \omega_j \quad (8)$$

ここで、 JTP は関節トルクパワー、 ω は関節角速度、 j は関節を示している。

図 4-8 は、支持脚の関節トルクパワーのピーク値の定義を示したものである。股関節については（上段）支持期前半の正のピークパワー（PPH）、膝関節（中段）については支持期前半の負のピークパワー（PPK1）および支持期中間の正のピークパワー（PPK2）、足関節（下段）については支持期前半の負のピークパワー（PPA1）および支持期後半の正のピークパワー（PPA2）をそれぞれピーク値として定義した。

⑭ 関節の力学的仕事

各局面における足関節、膝関節、股関節の正および負の関節トルクパワーをそれぞれ積分することにより、各関節の正および負の力学的仕事を算出した（式 9、10）。

$$PW_j = \int_{t1}^{t2} (JTP_j^+) dt \quad (9)$$

$$NW_j = \int_{t1}^{t2} (JTP_j^-) dt \quad (10)$$

ここで、 PW は正の力学的仕事、 NW は負の力学的仕事、 JTP^+ は正の関節トルクパワー、 JTP^- は負の関節トルクパワー、 $t1$ は局面の開始時点、 $t2$ は局面の終了時点を示している。

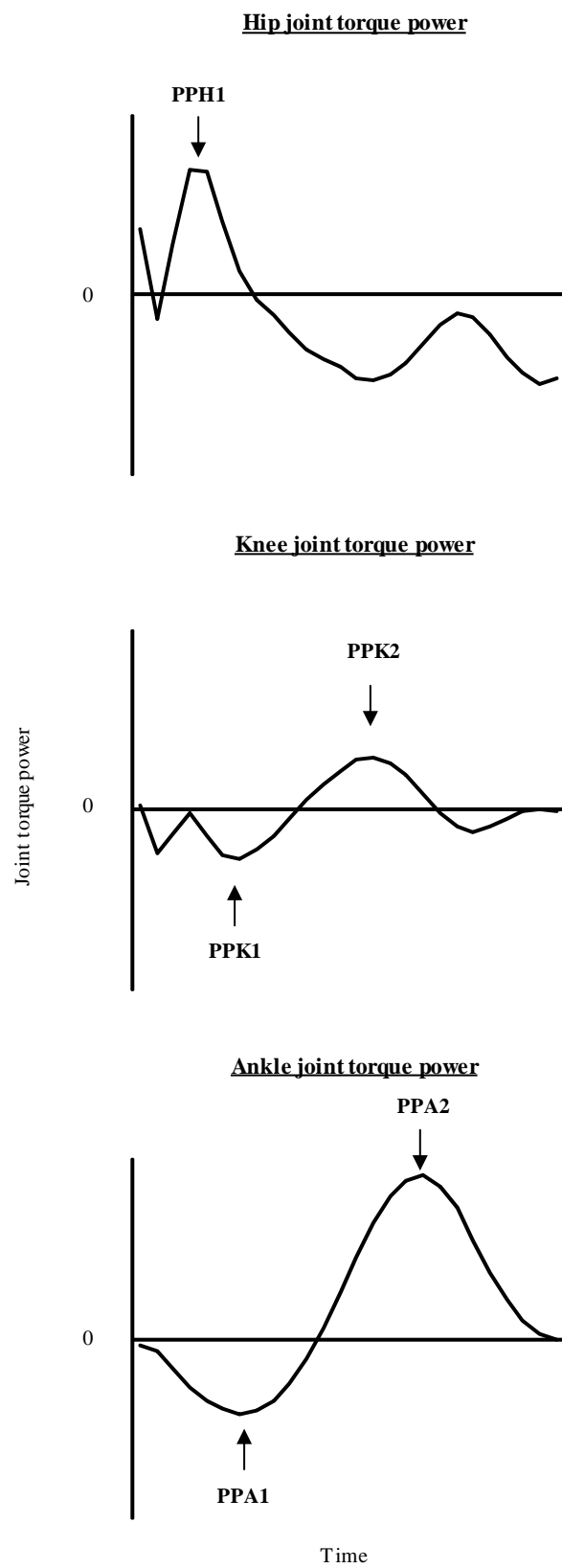


Figure 4-8 The definition of peak joint torque power for the support leg.

5. 800m 走におけるレースパターンの特徴

5.1 目的

これまでの 800m 走のレースパターンに関する研究は、世界選手権やアジア大会、日本選手権、全国高校総体などのレースを対象に行なわれてきた（松尾ら，1994；杉田ら，1994；松尾ら，1997；門野ら，2010）。その結果，800m 走ではレースによってパターンが異なることや，同じレースの中でも選手によってパターンが大きく異なる場合があり，レースパターンが多様性を示すことが明らかとなっている。榎本ら（2005）は，世界と日本の一流選手のレースパターンを比較し，日本一流選手のレースパターンの課題について検討している。その結果，世界一流選手と日本一流選手の走スピードの差は，0～120m 区間と 500～600m 区間において大きかったことなどを明らかにしている。これらは，極めて高い水準における記録とレースパターンとの関係を明らかにしたものであり，特に日本の一流選手にとっては有益な知見であるといえる。しかし，これらの知見が異なる記録水準の選手にも当てはまるかどうかは不明であり，800m 走の記録とレースパターンとの関係については十分に検討されていない。したがって，記録水準の異なる選手を対象に記録とレースパターンとの関係について検討する必要があると考えられる。また，短距離走（阿江ら，1994）やハードル走（宮下，1993；森丘，2006；森丘と山崎，2008）において行なわれているレースパターンのモデル化や類型化により，レースパターンを改善する上での目標値や選手の技術評価が可能となり，戦術やトレーニング法の考案にも役立つことから，800m 走においてもレースパターンのモデル化や類型化を行なうことで有用な知見や情報が得られると考えられる。

本研究の目的は，記録水準の異なる男子 800m 選手のレース中の走スピード，ステップ長および

ステップ頻度の変化を分析し、その特徴を明らかにすることにより、記録とレースパターンとの関係について明らかにし、レースパターンのモデル化および類型化を行なうことである。

5.2 方法

データ収集および処理方法は第4章で述べた。

5.2.1 分析対象者

分析対象者は、データ収集を行なった競技会における男子 800m レースにおいて、レース記録が 1 分 53 秒 99 以下で、かつ自己記録に対する達成率が 99.0 % 以上であった選手 54 名とした。このうち、自己最高を記録した選手は 42 名であった。表 5-1 は分析対象とした競技会と対象者数を示したものである。なお、表中の*は日本陸上競技連盟科学委員会の活動として行なわれたものである。

記録水準別に比較を行うため、1 分 46 秒 00 から 1 分 47 秒 99 までの 9 名 (G1)、1 分 48 秒 00 から 1 分 49 秒 99 までの 15 名 (G2)、1 分 50 秒 00 から 1 分 51 秒 99 までの 16 名 (G3)、1 分 52 秒 00 から 1 分 53 秒 99 までの 14 名 (G4) の 4 群に分けた。なお、分類に際しては、選手の重複を避け、かつ群内に同じレースを走った選手が混在しないように配慮した。表 5-2 は各群のレース記録を平均および標準偏差で示したものである。

5.2.2 統計処理

測定項目の有意差検定には、一元配置分散分析 (ANOVA) を用い、Scheffe 法により多重比較を行った。また、レース平均走スピードと各項目との間のピアソンの相関係数を算出した。いずれも有意水準は 5% 以下とした。

Table 5-1 The competitions videotaped.

Competition	Date	Stadium	N of subjects
* 1994 Asian Track and Field Championships	1994.10.12	Hiroshima	4
* 78th Japan Track and Field National Championships	1994.6.12	National	3
* 1996 TOTO International Super Track and Field Meet	1996.9.16	National	3
* 2002 Middle Distance Challenge #3	2002.6.23	Odawara	2
* 2003 Middle Distance Challenge acom 800m	2002.10.5	Kenshi-Dai	2
* 87th Japan Track and Field National Championships	2003.6.8	Yokohama	5
* 2003 Middle Distance Challenge #3	2003.6.22	Kenshi-Dai	2
* 88th Japan Track and Field National Championships	2004.6.6	Fuse	1
73rd Japan Inter Collegiate Track and Field Championships	2004.7.4	National	1
* 89th Japan Track and Field National Championships	2005.6.3	National	2
* 2005 Japan Grand Prix Series #1 Hyogo Reray Carnival	2005.4.24	Kobe	1
* 58th Japan Interscholastic Athletic Meet	2005.8.5	Chiba	2
* 2006 Japan Grand Prix Series #1 Hyogo Relay Carnival	2006.4.23	Kobe	2
85th Kanto Inter Collegiate Track and Field Championships	2006.5.20-21	Yokohama	5
75th Japan Inter Collegiate Track and Field Championships	2006.6.10-11	Yokohama	3
* 90th Japan Track and Field National Championships	2006.7.2	Kobe	1
22nd Japan Junior Track and Field National Championships	2006.7.8	Hamayama	9
* 59th Japan Interscholastic Athletic Meet	2006.8.4-5	Osaka	2
19th The Six Colleges Track and Field Meet	2006.9.30	Komazawa	4

* :JAAF scientific committee's research activity.

Table 5-2 Characteristics of the runners' groups.

Group	G1	G2	G3	G4
N of subjects	9	15	16	14
Race time	1:47.00 \pm 0.40	1:49.15 \pm 0.60	1:51.15 \pm 0.67	1:52.74 \pm 0.40
Mean \pm SD				

5.3 結果

5.3.1 走スピード

図 5-1 は、各群の各区間の走スピードの変化を平均値で示したものである。全体的には、0～120m 区間で加速して 120～200m 区間において最大に達し、200～400m において漸減し、500～700m で僅かに増大あるいは維持し、ラスト 100m で維持あるいは減少する傾向を示した。

表 5-3 は、各区間の走スピードにおける群間の有意差をまとめたものである。群間の有意差は 120～600m において多くみられた。

図 5-2 は、レース平均走スピードと各区間の走スピードとの相関係数を示したものである。両者の間には全ての区間において有意な正の相関がみられ、相関係数は 200～600m において特に大きかった。

5.3.2 ステップ長，ステップ頻度

図 5-3 は、各群の各区間のステップ長（上段）およびステップ頻度（下段）の変化を示したものである。ステップ長は、120～200m 区間で最大となり、その後フィニッシュにかけて漸減する傾向を示した。ステップ頻度は、0～120m 区間が最も大きく、その後 400m まで漸減し、ゴールまで漸増する傾向を示した。

表 5-4 は、各区間のステップ長における群間の有意差をまとめたものである。群間の有意差は G1ーG4 間に 200～500m においてみられた ($p<0.05$)。ステップ頻度では全ての群間、区間において有意差はみられなかった。

図 5-4 は、レース平均走スピードと各区間のステップ長（上段）およびステップ頻度（下段）と

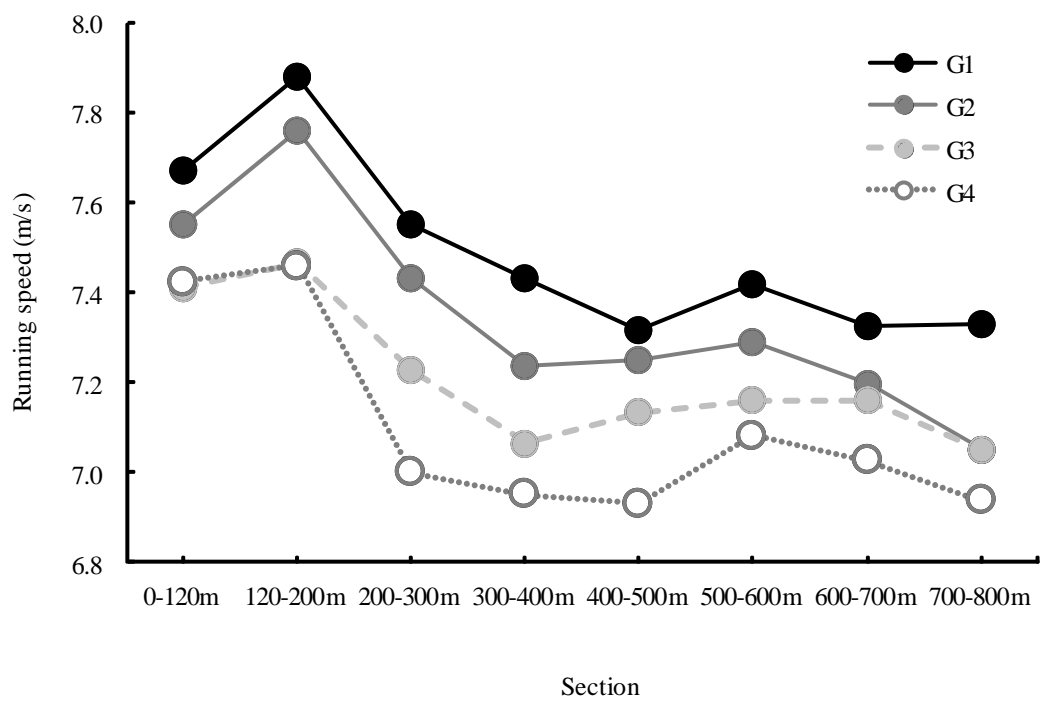


Figure 5-1 Change in the running speed in the 800m race.

Table 5-3 Group differences in the running speed at each phase.

	0-120m	120-200m	200-300m	300-400m	400-500m	500-600m	600-700m	700-800m
G1 - G2				1 > 2				
G1 - G3	1 > 3	1 >> 3	1 >> 3	1 >>> 3	1 > 3	1 >> 3		
G1 - G4	1 > 4	1 >> 4	1 >>> 4	1 >>> 4	1 >>> 4	1 >> 4	1 >> 4	1 > 4
G2 - G3		2 > 3	2 > 3	2 > 3				
G2 - G4		2 > 4	2 >>> 4	2 >>> 4	2 >>> 4	2 > 4		
G3 - G4			3 > 4		3 >> 4			

>>>
= p<0.001

>>
= p<0.01

>
= p<0.05

= ns

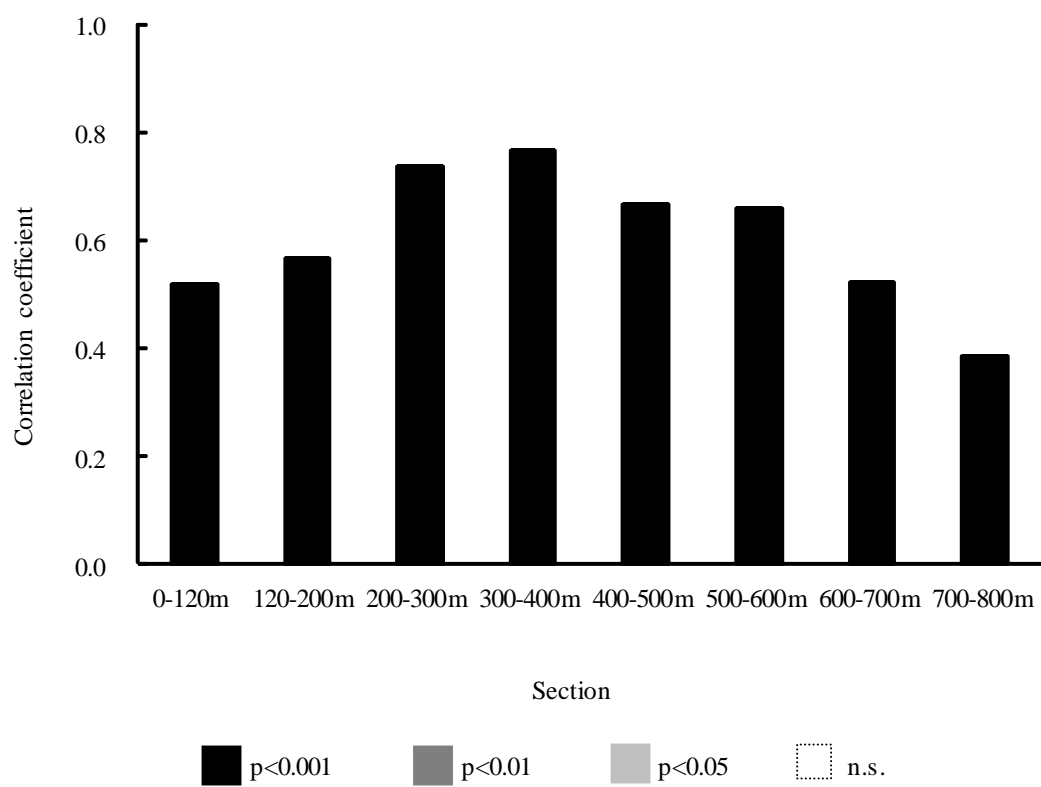


Figure 5-2 Correlation coefficients of average running speed in the 800m race to running speed at each section.

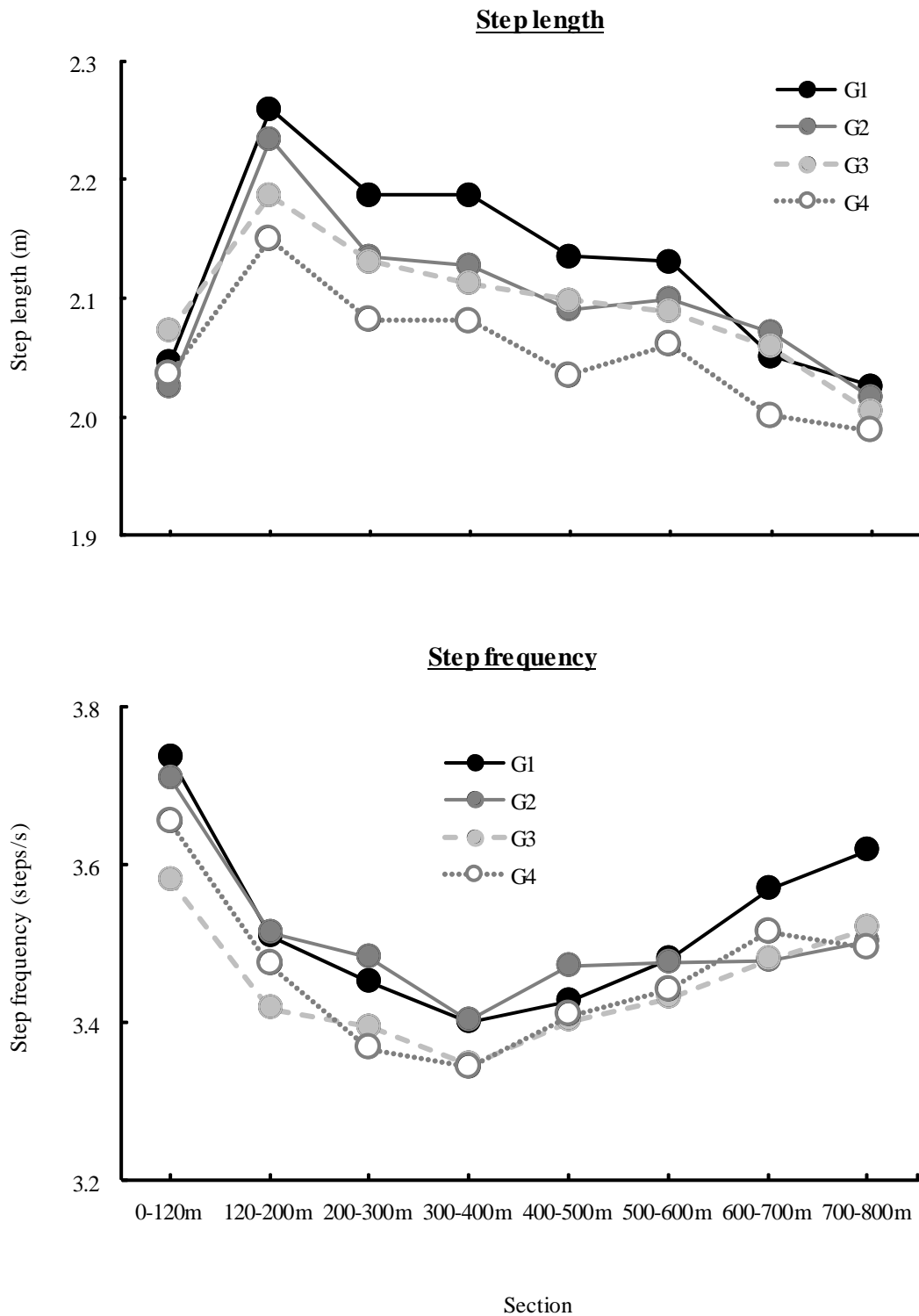


Figure 5-3 Changes in the step length (upper) and the step frequency (lower) in the 800m race.

Table 5-4 Group differences in the step length at each phase.

	0~120m	120~200m	200~300m	300~400m	400~500m	500~600m	600~700m	700~800m
G1 - G2								
G1 - G3								
G1 - G4								
G2 - G3								
G2 - G4			2 > 4					
G3 - G4								

>>>
= p<0.001

>>
= p<0.01

>
= p<0.05

= ns

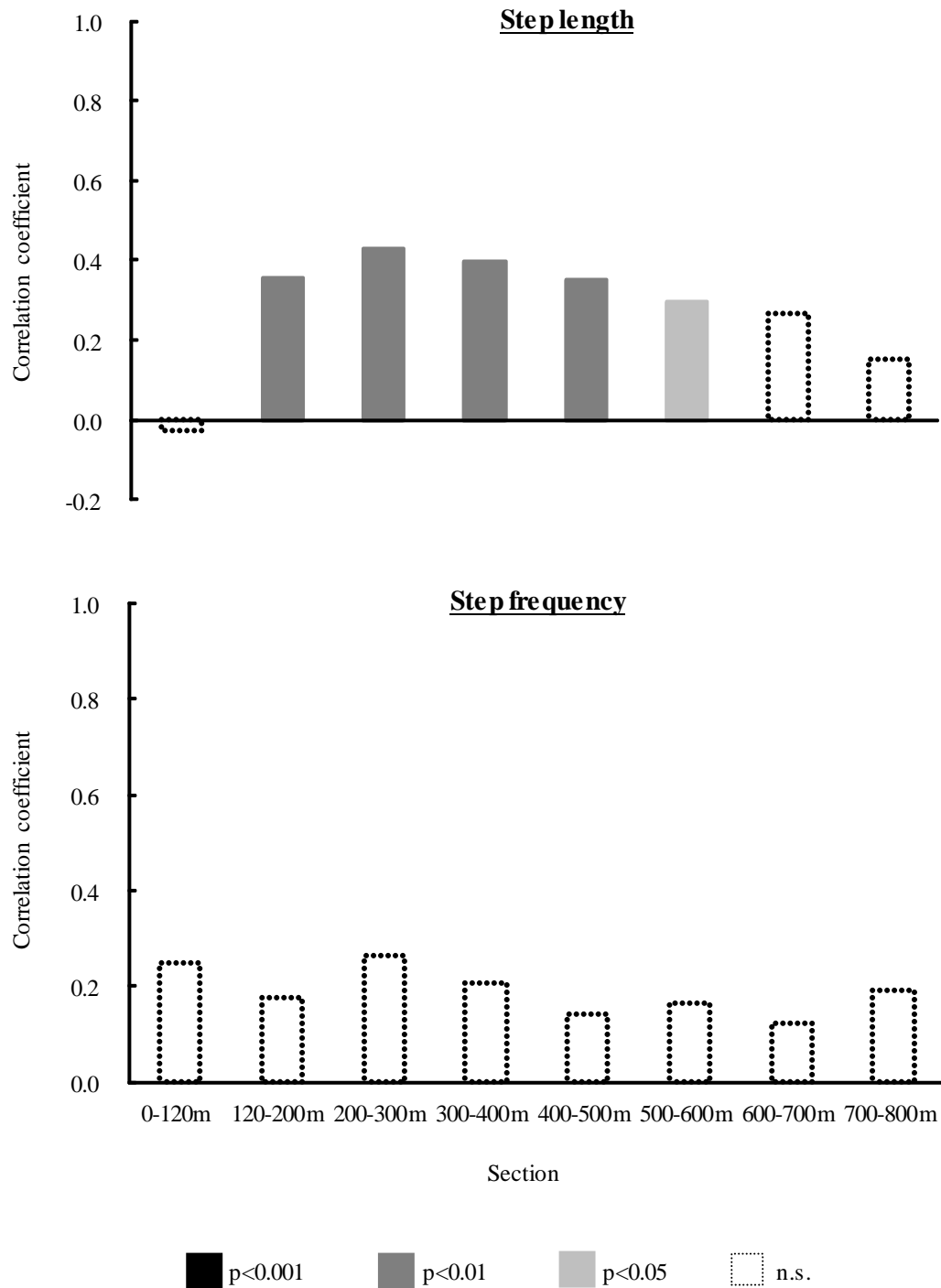


Figure 5-4 Correlation coefficients of average running speed in the 800m race to the step length (upper) and step frequency (lower) at each section.

の相関係数を示したものである。レース平均走スピードとステップ長との間には 120～600m までの各区間において有意な正の相関がみられ、ステップ頻度との間には全ての区間において有意な相関はみられなかった。

図 5-5 は、各群の各区間の身長比ステップ長の変化を示したものである。120～200m 区間で最大となり、その後フィニッシュにかけて漸減する傾向を示した。

表 5-5 は、各区間の身長比ステップ長における群間の有意差をまとめたものである。群間の有意差は G1-G2 間に 600～700m においてみられた ($p<0.05$)。

5.3.3 相対走スピード

図 5-6 は、各群の各区間の相対走スピードの変化を示したものである。全体的には、120～200m で最大となり、200～400m において漸減し、400～800m では 100%を下回る範囲で推移していた。

表 5-6 は、各区間の相対走スピードにおける群間の有意差をまとめたものである。群間の有意差は G2-G4 間にのみ 200～300m 区間においてみられたが ($p<0.05$)、それ以外の区間においてはみられなかった。

図 5-7 は、レース平均走スピードと相対走スピードとの相関係数を示したものである。両者の間には 200～300m 区間においてのみ有意な正の相関がみられた ($r=0.307$, $p<0.05$)。

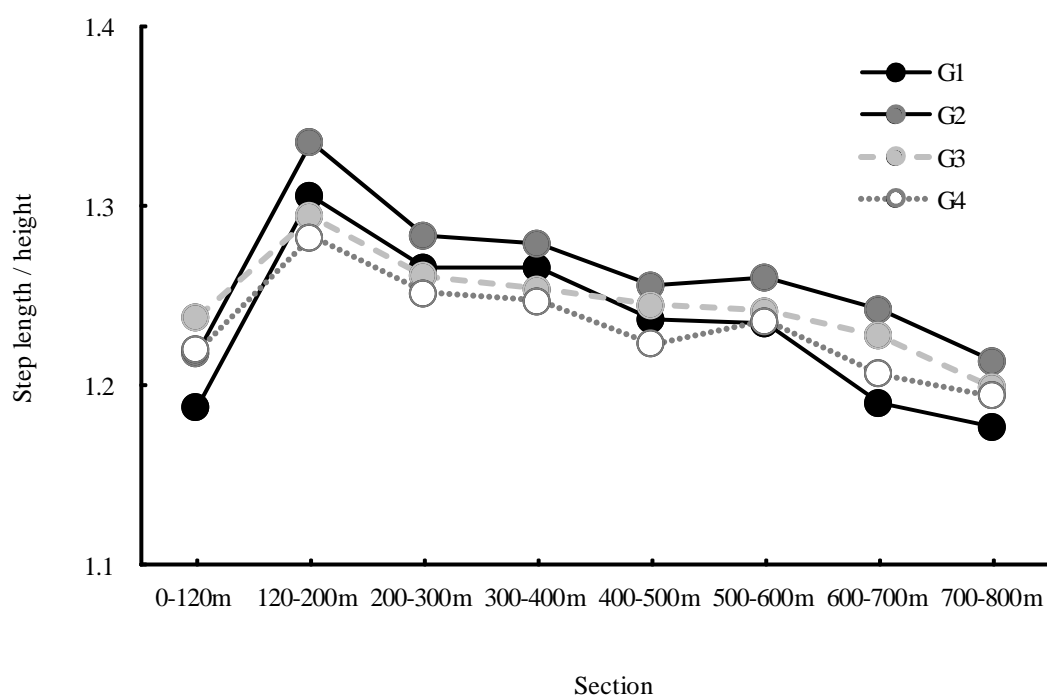


Figure 5-5 Change in the step length / height in the 800m race.

Table 5-5 Group differences in the relative step length / height at each phase.

	0~120m	120~200m	200~300m	300~400m	400~500m	500~600m	600~700m	700~800m
G1 - G2							1 < 2	
G1 - G3								
G1 - G4								
G2 - G3								
G2 - G4								
G3 - G4								

>>>
= p<0.001

>>
= p<0.01

>
= p<0.05

= ns

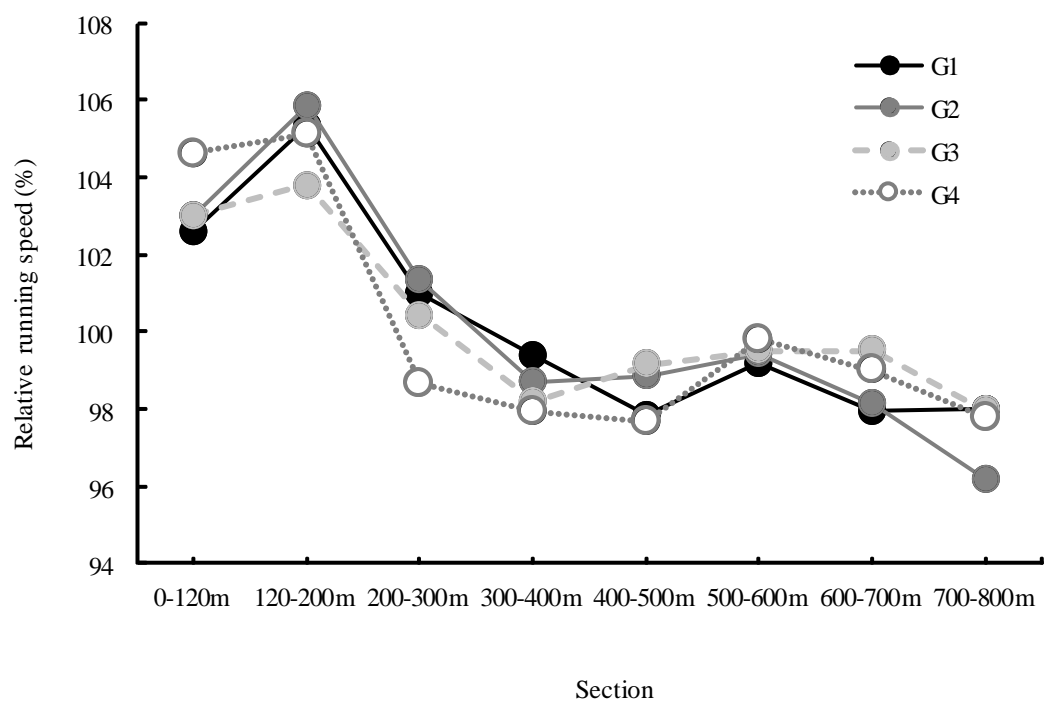


Figure 5-6 Change in the relative running speed in the 800m race.

Table 5-6 Group differences in the relative running speed at each phase.

	0~120m	120~200m	200~300m	300~400m	400~500m	500~600m	600~700m	700~800m
G1 - G2								
G1 - G3								
G1 - G4								
G2 - G3								
G2 - G4			2 > 4					
G3 - G4								

>>>

= p<0.001

>>

= p<0.01

>

= p<0.05

= ns

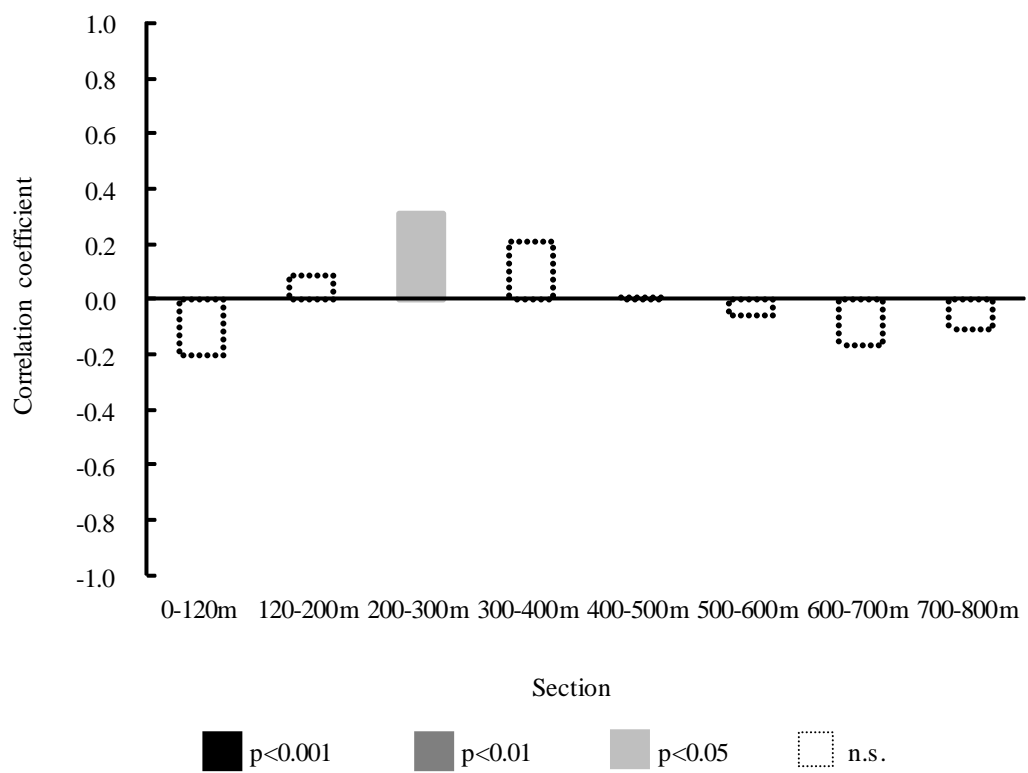


Figure 5-7 Correlation coefficients of average running speed in the 800m race to relative running speed at each section.

5.4 考察

5.4.1 走スピード、ステップ長およびステップ頻度からみたレースパターンの特徴

走スピードは、120～200m 区間において最大に達したのち、200～400m において漸減し、500～700m でわずかに増大あるいは維持するものの、後半の 400m において全体的に維持するような変化パターンを示した（図 5-1）。このことから、選手が自己最高あるいはそれに近い記録をマークしたレースでは、スタート～200m で加速した後 400m まで漸減した走スピードを、後半 400m においてできる限り維持するようなパターンであったことがわかる。また、走スピードにおける群間の有意差は 120～600m において多くみられ（表 5-3）、レース平均走スピードと各区間の走スピードとの相関係数はレース中盤（200～600m）において大きかった（図 5-2）。これらのことは、800m 走においてレース記録がよいものほど、レース全体の中でも特にレース中盤における走スピードが大きいことを示している。また、ラスト 100m における走スピードとレース平均走スピードとの相関係数は全ての区間の中で最も小さかったことから（ $r=0.384$, $p<0.01$ ）、ラストスパートと記録との関係は弱いといえる。

走者には、ある走スピードにおいて効率や経済性が高くなる最適なステップ長やステップ頻度が存在し、それは熟練した走者では自然なフォームで疾走した時とほぼ一致することが知られている

（Hogberg, 1952 ; Cavanagh and Williams, 1982 ; 佐竹と池上, 1985 ; Kaneko et al., 1987）。本研究のように選手が自己最高あるいはそれに近い記録をマークしたレースにおいては、ステップ長とステップ頻度が最適にコントロールされていた可能性が高いと考えられる。ステップ長とステップ頻度の変化を概観すると（図 5-3）、ステップ長は「への字型」、ステップ頻度は「U字型」の変化パターンを示した。具体的にみると、最初の 120m ではステップ長は小さいがステップ頻度が最も大き

く、続く 120～200m 区間では逆にテップ頻度が大きく減少してステップ長が最大となり、最高走スピードに達していた。このことから、800m 走ではスタートから 200m までを加速局面として捉えることができ、この局面においては、まずステップ頻度を増大させて加速した後、走スピードの増大にともなってステップ長を増大させながら最高走スピードに到達するという特徴を示す。走スピードは 120～200m 区間で最高走スピードに達した後 400m にかけて漸減し、この局面においてステップ長、ステップ頻度ともに漸減する傾向を示した。したがって、200～400m における走スピードの減少は、ステップ長およびステップ頻度の減少によるものであった。後半 400m では疲労の影響が大きくなり、選手はそれに抗するように走っており、その結果として走スピードが漸減あるいは維持される局面である（図 5-1）。ステップ長はフィニッシュにかけて漸減し、ステップ頻度は漸増する傾向を示した（図 5-3）。これまで多くの先行研究において、ラストスパートにおけるステップ頻度増大の重要性が示唆されており、本研究においても同様のことが示されたが（松尾ら，1994；杉田ら，1994；松尾ら，1997；榎本ら，2005），ステップ長の減少はラスト 100m だけでなく 400m 以降から始まっていたことから、ステップ頻度はラスト 100m だけでなく後半の 400m において漸増させることが、走スピードの減少を抑えるために重要であると考えられる。群間の有意差は、ステップ長では G1-G4 間に 200～600m のレース中盤においてみられ ($p<0.05$)，ステップ頻度では全ての群間、区間においてみられなかった（表 5-4）。レース記録と各区間のステップ長およびステップ頻度との相関関係は、ステップ長では、120～600m までのレース中盤において有意な正の相関がみられ（120～500m： $p<0.01$ ，500～600m： $p<0.05$ ），ステップ頻度では有意な相関はみられなかった（図 5-4）。これらのことから、競技水準の高い選手ほど主にレース中盤において大きなステップ長を維持して走っており、レース中盤における走スピードの差は、ステップ頻度ではなくステップ長の差

による影響が大きいと考えられる。榎本ら（2005）は、男子 800m の一流選手の走スピードはステップ頻度よりもステップ長との相関が高いと述べており、本研究においても同様のことが示された。

5.4.2 レースパターンのモデル化および類型化

記録水準の差は走スピードの差である。しかし、走スピードの大小のみならず、800m という距離の中で走スピードをいかに変化させるかというペース配分もパフォーマンスに影響を及ぼす重要な要因の一つである。そこで、ペース配分について検討するために各区間の相対走スピードを算出し、その変化を比較した結果、変化パターンは全ての群において非常に類似していた（図 5-6）。また、群間の有意差は G2-G4 間に 200~300m 区間においてのみみられ（表 5-6）、レース平均走スピードと各区間の相対走スピードとの相関係数は 200~300m 区間においてのみ有意であったが（図 5-7）、その他全ての群間および区間においてはみられなかった。これらのことから、本研究で対象とした記録水準（1 分 46 秒 00 から 1 分 53 秒 99）においては、自己最高あるいはそれに近い記録をマークしたレースでは、相対的にみるとペース配分は記録水準にかかわらずほぼ同じであったといえる。このことを踏まえると、本研究で分析対象とした選手の相対走スピードを区間毎に平均することによって、800m 走における平均レースパターンを導き出すことができると考えられる。表 5-7 は相対走スピードの平均と標準偏差を、図 5-8 はその変化パターンを示したものである。その特徴は、

- 1) スタートで加速して 120~200m 区間で最大走スピード(平均スピードの約 105%相当)に達し、
- 2) 200~400m で緩やかに減速し、
- 3) 後半の 400m ではレースの平均走スピードをわずかに下回る走スピード（約 98.6%）を全体的に維持する。

Table 5-7 Means and standard deviations of the relative running speed at each section as an averaged race pattern of the 800m race.

section	relative running speed
0~120m	103.37 \pm 2.48 %
120~200m	104.99 \pm 3.34 %
200~300m	100.34 \pm 2.62 %
300~400m	98.48 \pm 1.94 %
400~500m	98.48 \pm 2.11 %
500~600m	99.53 \pm 2.04 %
600~700m	98.75 \pm 2.43 %
700~800m	97.45 \pm 3.58 %
Mean \pm SD	

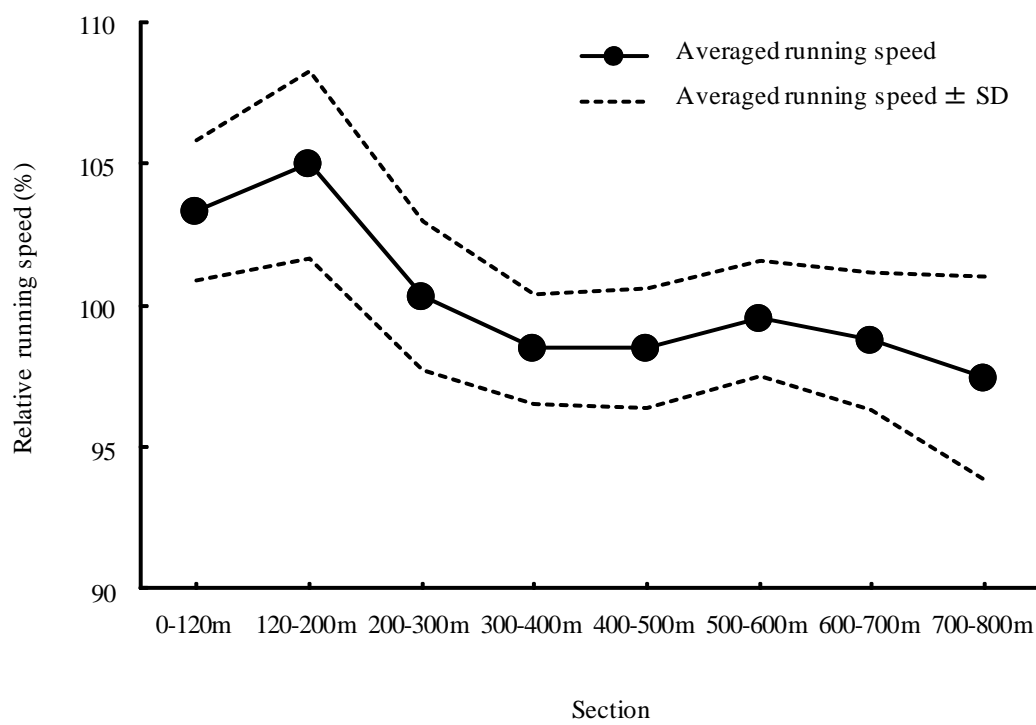


Figure 5-8 Change in averaged relative running speed at each section during the 800m race.

というものであった。

また、分析に用いたデータは選手が自己最高あるいはそれに近い記録をマークしたレースのデータであるため、表 5-7 の相対走スピードの平均および標準偏差を用いることにより、800m 走において目標記録を達成するためのペース配分の指標（以下、モデルレースパターン）を算出することができると考えられる。しかし、現場では、同じ記録水準であってもレース前半から積極的に大きな走スピードで走るいわゆる「前半型」のレースパターンを得意とする選手や、逆に前半を抑えて後半に走スピードを上げる「後半型」のレースパターンを得意とする選手など、様々な特性を持った選手が存在する。したがって、そのような様々な特性をもつ選手達のレースパターンを、1 つのモデルに当てはめることには限界があると考えられる。すなわち、選手によってはモデルが適合しない可能性が出てくるため、何らかの工夫が求められる。そこで、以下の手順により、平均レースパターンを「前半型」、「中間型」、「後半型」の 3 つのタイプに類型化した。

- 1) 区間相対走スピードと平均レースパターン（表 5-7）との差を算出し、その差を平均レースパターンの標準偏差で除すことにより Z スコアを算出する。
- 2) 個人内の全区間の Z スコアを平均し、次に全分析対象者のその平均および標準偏差を算出する。この全分析対象者の平均の値を基準値とする。
- 3) 各分析対象者個人の前半 400m の Z スコアの平均を算出し（前半 Z スコア）、前半 Z スコアが基準値 + 標準偏差を超える選手を「前半型」、基準値 \pm 標準偏差以内の選手を「中間型」、基準値 - 標準偏差に満たない選手を「後半型」とする。
- 4) タイプ毎に分析対象者の相対走スピードの平均および標準偏差を算出する。

表 5-8 はタイプ別の相対走スピードの平均および標準偏差、図 5-9 はそれぞれの変化パターンを示

Table 5-8 Means and standard deviations of the relative running speed in each section for the positive (POS), medium (MED) and negative (NEG) race patterns..

section	POS	MED	NEG
0~120m	104.34 ± 1.92 %	102.68 ± 3.38 %	102.06 ± 1.96 %
120~200m	105.83 ± 2.97 %	104.89 ± 3.71 %	103.48 ± 3.41 %
200~300m	101.71 ± 2.30 %	100.34 ± 2.02 %	97.80 ± 1.47 %
300~400m	99.39 ± 1.17 %	98.47 ± 2.46 %	96.81 ± 1.63 %
400~500m	99.12 ± 2.02 %	97.29 ± 1.75 %	98.16 ± 2.17 %
500~600m	98.94 ± 1.75 %	98.75 ± 1.91 %	101.20 ± 1.74 %
600~700m	97.44 ± 1.59 %	99.65 ± 2.28 %	100.53 ± 2.51 %
700~800m	95.07 ± 2.76 %	99.39 ± 1.89 %	100.46 ± 2.69 %
Mean ± SD			

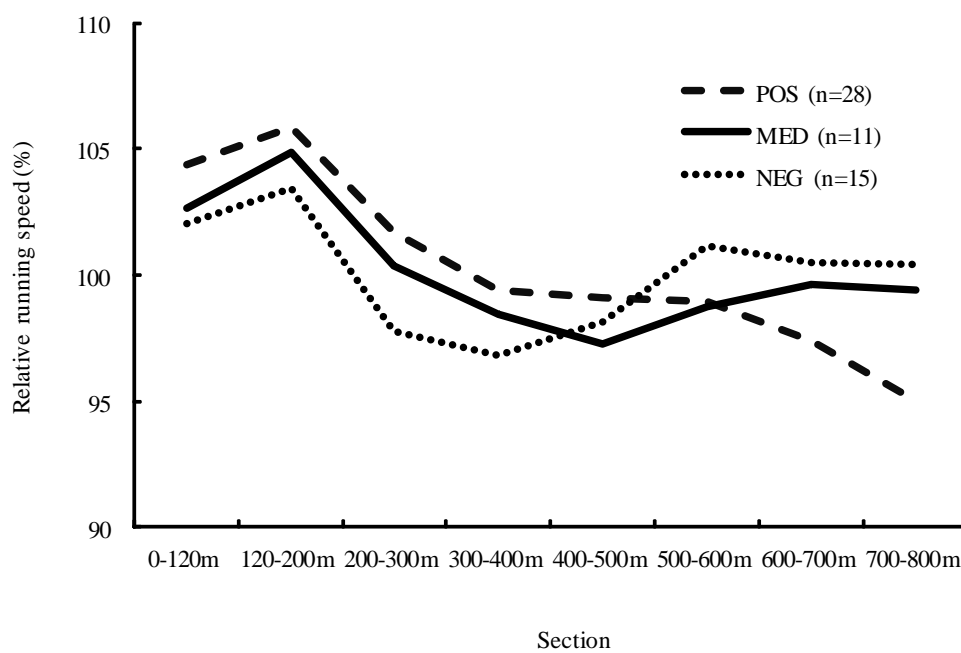


Figure 5-9 Changes in averaged relative running speed at each section for the positive (POS, dashed line), medium (MED, solid line) and negative (NEG, dotted line) race patterns.

したものである。前半型（POS）は前半 400m において速く，ラスト 300m において大きく減速する「への字型」のパターンであり，後半型（NEG）は前半 400m において走スピードを抑え，ラスト 300m において走スピードが増大する「U 字型」のパターンである。中間型（MED）は，前半型と後半型の中間に位置するパターンである。このように，1 つの平均レースパターンを「前半型」「中間型」「後半型」の 3 つのモデルレースパターンに類型化することにより，選手の特性に応じて適切なモデルを選択することが可能となると考えられる。

5.5 要約

本研究の目的は、記録水準の異なる男子 800m 選手のレース中の走スピード、ステップ長およびステップ頻度の変化を分析し、その特徴を明らかにすることにより、記録とレースパターンとの関係について明らかにし、レースパターンのモデル化および類型化を行なうことであった。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 走スピードは、平均的には 120～200m 区間において最大に達したのち 400m まで漸減し、後半の 400m において全体的に維持するような変化パターンを示した。
- ② 記録水準間の走スピードの差は主にレース中盤において大きかった。
- ③ ステップ長は 120～200m で最大を示したのち、ゴールまで漸減する「への字型」の変化パターンを示した。ステップ頻度は 0～120m で最大を示した後 400m 付近まで漸減し、後半の 400m において漸増する「U 字型」の変化パターンを示した。
- ④ 記録水準の高い選手ほど、ステップ長が大きかった。
- ⑤ 相対走スピードからみたペース配分は、記録水準にかかわらずほぼ同じであった。

また、相対走スピードを区間毎に平均することによって 800m 走における平均レースパターンを導き出した。これは目標記録を達成するためのペース配分の指標（モデルレースパターン）として活用することができると考えられる。さらに、類型化した「前半型」「中間型」「後半型」の 3 つのモデルレースパターンにより、選手の特性に応じて適切なモデルを選択することが可能となると考えられる。

6. 800m レース中の走動作の特徴

6.1 目的

短距離走, 例えば 100m 走においては, レース中の走スピードの変化をもとに, レースの局面がスタート局面, 加速局面, 最高速度局面, 減速局面のように分割して考えられ, その局面ごとの走動作の研究によって特徴が明らかにされてきた(宮下ら, 1986; 伊藤ら, 1994; 佐川ら, 1997; 斉藤ら, 1997; 伊藤ら, 1998; 貴嶋ら, 2010; 福田ら, 2010, 矢田ら, 2011). そして, これらの知見をもとにトレーニングやコーチングが行なわれている(土江, 2009; 土江, 2011). 800m 走においては, レース中の走動作に関する研究は少ないばかりでなく, 研究によって分析対象とする選手の記録水準や性別, 分析地点が異なり, 断片的な知見しか得られていない(湯と田, 1997; 戸谷, 1997; 榎本ら, 2002; Skof and Stuhec, 2004; 門野ら, 2006; 門野ら, 2010). したがって, 明らかとなった特徴が, レース全体の中でどのような意味を持つかが不明確であり, 800m レース中の走動作の特徴はほとんど明らかにされていないといえる. 800m 走動作の特徴について明らかにするためには, 100m 走と同様にレースパターンと関連づけて検討する必要があるだろう. 第 5 章において 800m 走の平均的なレースパターンの特徴が明らかとなった. したがって, このレースパターンで走った選手の走動作を分析することにより, 800m レース中の平均的な動作の特徴について明らかにすることができると考えられる. また, 第 5 章において類型化した「前半型」「中間型」「後半型」のレースパターンで走った際の走動作の特徴についても併せて検討することにより, より詳細な知見が得られるであろう.

本研究の目的は, 800m レース中の走動作を分析し, 第 5 章で明らかとなったレースパターンと走

動作との関係について検討することにより, 800m 走の平均的な走動作の特徴について明らかにすることである.

6.2 方法

本研究では、800m 走のレース分析とレース中の動作分析を行なった。データ収集および処理方法は、第 4 章で述べた。

6.2.1 分析対象競技会および分析対象者

データ収集を行なった競技会の中から 5 つの競技会を抽出し、そのうち自己記録が 1 分 46 秒 00 から 1 分 48 秒 99 で、かつ自己記録に対する達成率が 98.5 % 以上であった選手 9 名を分析対象者とした。表 6-1 は分析対象競技会および分析対象者数を、表 6-2 は分析対象者の身体特性およびパフォーマンスを示したものである。なお、分析対象競技会におけるデータ収集は、日本陸上競技連盟科学委員会の活動として行われたものである。自己最高記録に対するレース記録の達成率は 99.9 ± 1.0 % で、分析対象者 9 名のうち 2 名が自己新記録、4 名がシーズンベスト記録をマークした。

6.2.2 統計処理

分析項目の各地点における変化を明らかにするため、反復測定分散分析を行なった。被験者内効果が有意であった場合に LSD 法を用いて多重比較検定を行なった。有意水準は 5% とした。

Table 6-1 Target competitions and the number of subjects.

Competition	Date	Stadium	N of subjects
Niigata Big Athletic Festa	2010.10.11	Niigata	4
95th Japan Track & Field National Championships	2011.6.12	Kumagaya	1
10th Kawasaki Track & Field Festival	2011.10.29	Todoroki	2
96th Japan Track & Field National Championships	2012.6.10	Nagai	1
97th Japan Track & Field National Championships	2013.6.9	Chofu	1

Table 6-2 Characteristics and performance of 800m for subjects (n=9).

		Mean	S.D.	Max.	Min.
Age	(years)	24.1	2.5	29	21
Height	(m)	1.76	0.03	1.80	1.72
Weight	(kg)	62.7	2.7	66.0	59.0
Race record	(min:sec.)	1:47.92	1.03	1:49.13	1:46.18
Personal best record	(min:sec.)	1:47.78	0.99	1:48.84	1:46.16
Achievement rate	(%)	99.9	1.0	102.1	98.5

6.3 結果

6.3.1 レースパターン

表 6-3 は、レース分析によって得られた分析対象者の通過タイム、走スピード、相対走スピードと、第 5 章で明らかとなった平均レースパターンの相対走スピードを平均および標準偏差で示したものであり、図 6-1 はそれらの相対走スピードの変化を表したものである。分析対象者の相対走スピードは、0~120m 区間において平均レースパターンより大きく、700~800m 区間において小さかったが、その他の区間では平均レースパターンと同程度であった。

図 6-2 は、第 5 章で類型化した前半型および後半型のモデルレースパターンの典型例として、2 名の分析対象者（前半型：POS，後半型：NEG）を抽出し、その相対走スピードの変化と、前半型および後半型の平均レースパターンの相対走スピードを表したものである。なお、POS と NEG はそれぞれ別のレースを走り、レース記録は POS が 1 分 48 秒 59（前半 400m タイム：52 秒 05；後半 400m タイム：56 秒 54）、NEG が 1 分 48 秒 34（前半 400m タイム：53 秒 72；後半 400m タイム：54 秒 62）であった。POS の相対走スピードは、0~200m において前半型レースパターンより大きく、700~800m 区間において小さかったが、その他の区間では前半型レースパターンとほぼ同じであった。NEG の相対走スピードは、300~400m 区間において後半型レースパターンより大きかったが、その他の区間では後半型レースパターンとほぼ同じであった。

6.3.2 走速度、ステップ長、ステップ時間

図 6-3 は、動作分析によって得られた各地点における走速度、ステップ長、ステップ時間およびその構成要素を平均と標準偏差で示したものである。走速度は、350m 地点 ($p<0.01$)、550m 地点

Table 6-3 Mean elapsed time, running speed and relative running speed for all subjects and relative running speed for the averaged race pattern from study-1.

		Mark							
		120m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m
Elapsed time	(m:s.ms)	15.20 (0.28)	25.42 (0.50)	38.84 (0.68)	52.67 (0.59)	1:06.34 (0.68)	1:19.98 (0.82)	1:33.71 (1.07)	1:47.92 (1.03)
		Section							
		0-120m	120-200m	200-300m	300-400m	400-500m	500-600m	600-700m	700-800m
Running speed	(m/s)	7.90 (0.15)	7.84 (0.19)	7.45 (0.15)	7.23 (0.06)	7.31 (0.10)	7.34 (0.18)	7.29 (0.21)	7.05 (0.28)
Relative running speed	(%)	106.50 (1.89)	105.70 (2.59)	100.55 (1.49)	97.53 (1.38)	98.67 (0.87)	98.97 (2.16)	98.31 (2.06)	95.04 (3.65)
Relative running speed for averaged race pattern study-1.	(%)	103.37 (2.48)	104.99 (3.34)	100.34 (2.62)	98.48 (1.94)	98.48 (2.11)	99.53 (2.04)	98.75 (2.43)	97.45 (3.58)

Numerals in parentheses are standard deviations.

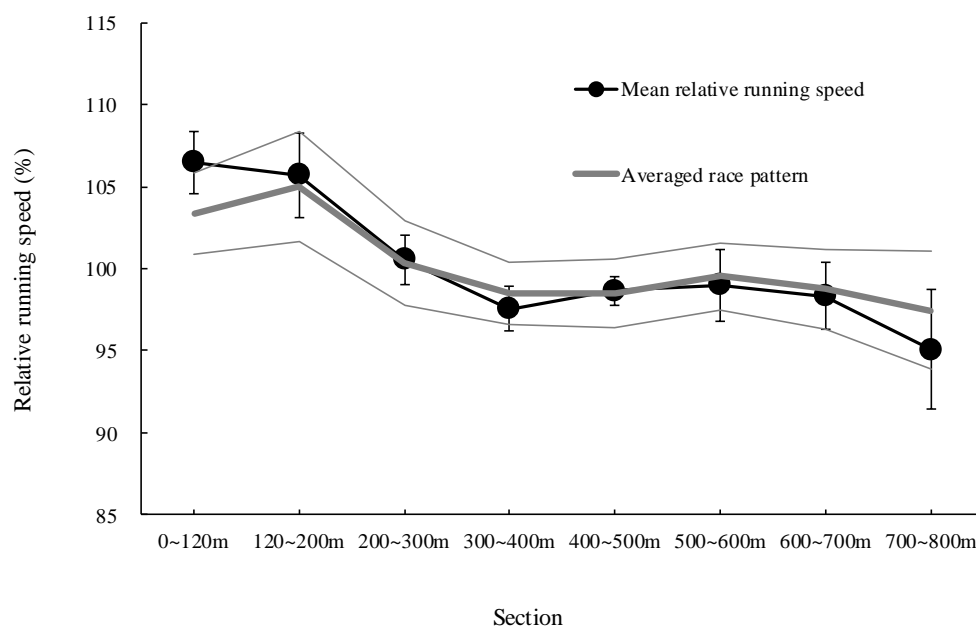


Figure 6-1 Change in mean relative running speed and averaged race pattern, study -1.

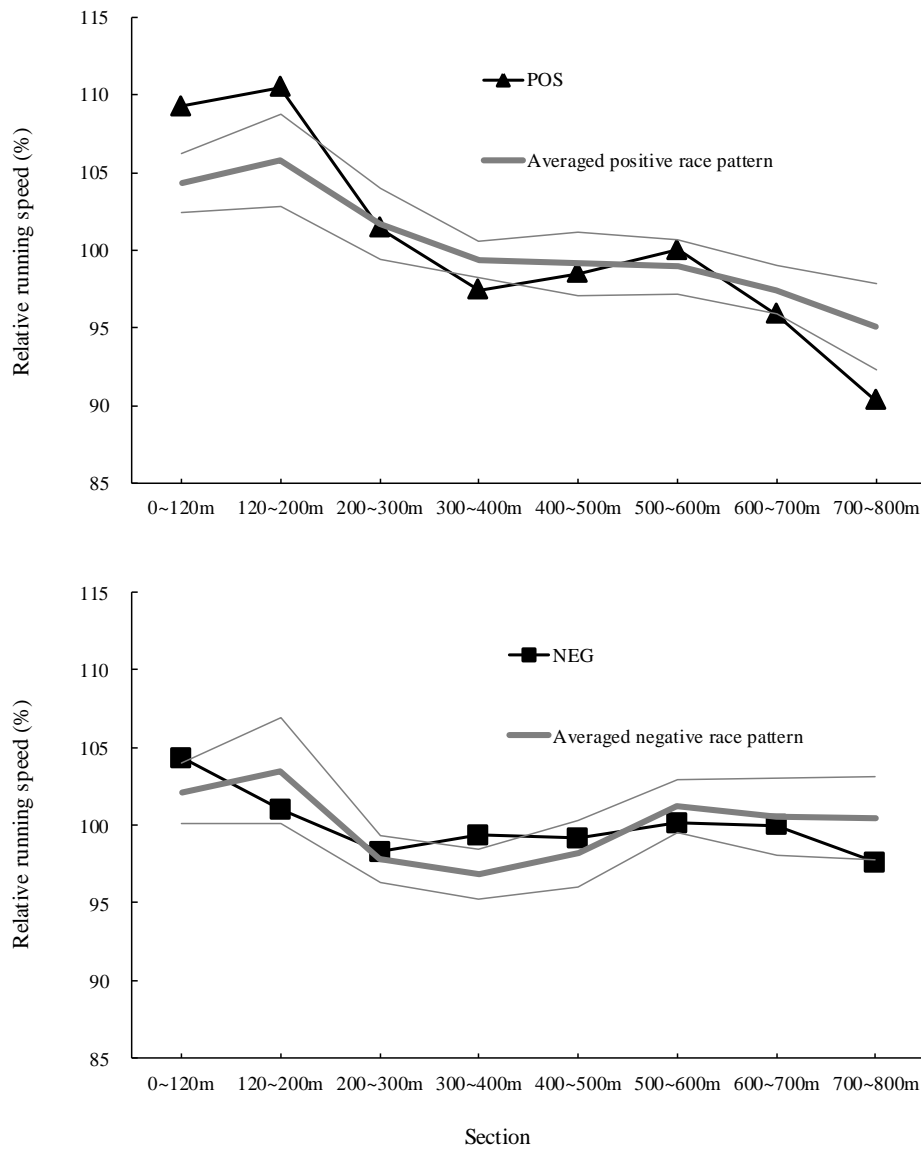


Figure 6-2 Changes in relative running speed for the typical subjects of the positive (POS, upper) and negative (NEG, lower) race pattern and the averaged positive and negative race pattern.

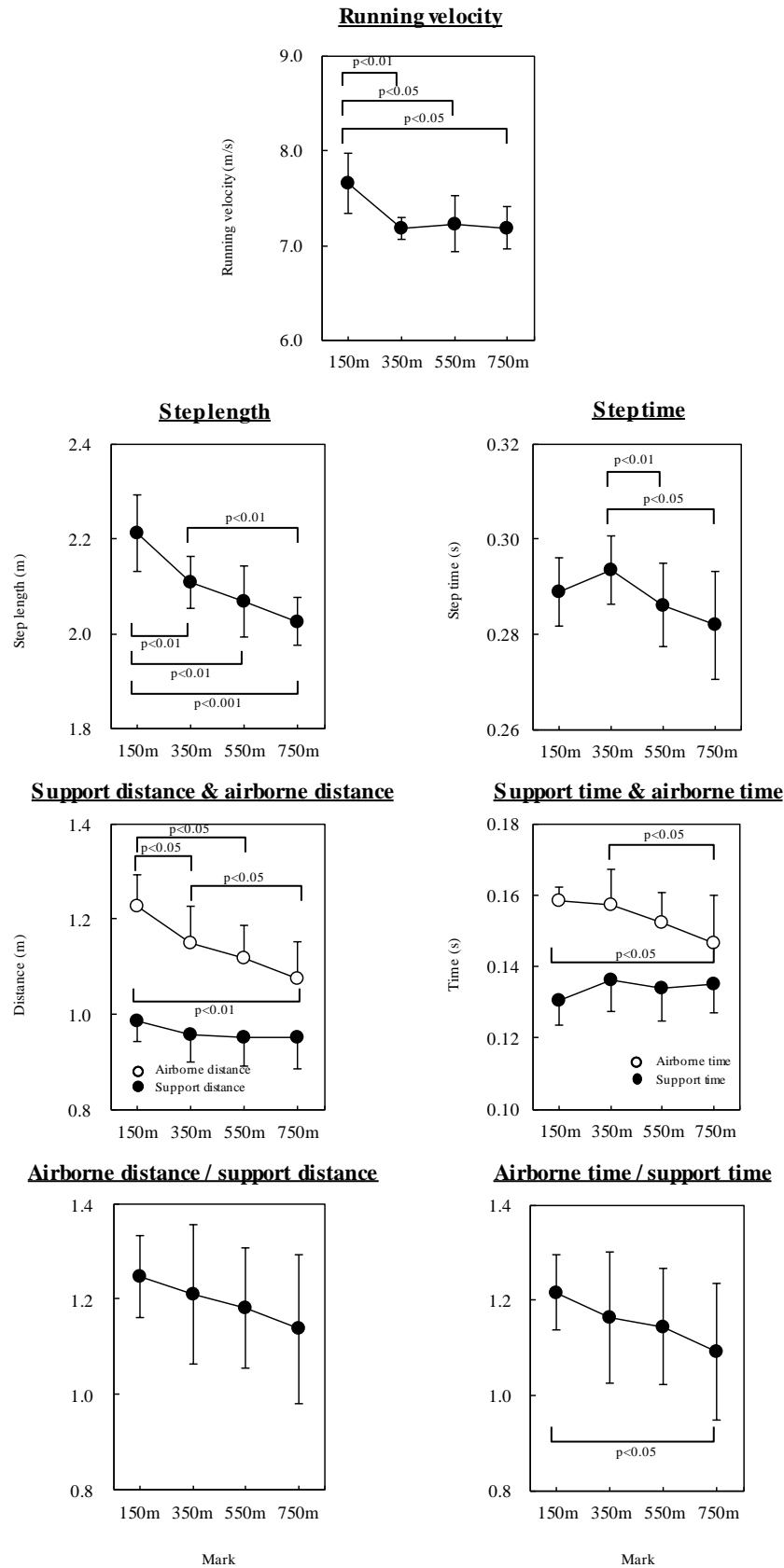


Figure 6-3 Means and standard deviations of running velocity, step length and step time at each mark in the 800m race.

($p<0.05$) および 750m 地点 ($p<0.05$) が 150m 地点より有意に小さかった。ステップ長は、150m 地点から 750m 地点にかけて漸減し、350m 地点 ($p<0.01$)、550m 地点 ($p<0.01$) および 750m 地点 ($p<0.001$) が 150m 地点より、また 750m 地点が 350m 地点より有意に小さかった ($p<0.01$)。滞空期距離は漸減し、350m 地点 ($p<0.05$)、550m 地点 ($p<0.05$) および 750m 地点 ($p<0.01$) が 150m 地点より、また 750m 地点が 350m 地点より有意に小さかった ($p<0.05$)。支持期距離に有意な変化はなかった。支持期距離に対する滞空期距離の比率は、150m 地点から 750m 地点にかけて漸減したが、有意な変化はなかった。ステップ時間は、150m 地点から 350m 地点にかけて増大した後、750m 地点にかけて減少し、350m 地点が 550m 地点 ($p<0.01$) および 750m 地点 ($p<0.05$) より有意に大きかった。滞空期時間は、150m 地点から 750m 地点にかけて漸減し、750m 地点が 150m 地点 ($p<0.05$) および 350m 地点 ($p<0.05$) より有意に短かった。支持期時間に有意な変化はなかった。支持期時間に対する滞空期時間の比率は、150m 地点から 750m 地点にかけて漸減し、750m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.05$)。

図 6-4 は、POS および NEG の各地点における走速度、ステップ長、ステップ時間およびその構成要素を示したものである。走速度は、POS は 150m 地点において大きく、750m 地点において小さかった。NEG はほぼ一定を維持していた。ステップ長は、POS は大きく漸減する傾向を示し、NEG は POS より維持していた。滞空期距離および支持期距離は、POS は 150m 地点から 750m 地点にかけて増減しながら全体的には減少する傾向を示した。ステップ時間は、POS は 150m 地点から 750m 地点にかけて増減しながら全体的には増大する傾向を示し、NEG は反対に減少した。滞空期時間および支持期時間は、POS は 150m 地点から 750m 地点にかけて増減しながら全体的には増大する傾向を示した。NEG は滞空期および支持期の距離および時間ともにほぼ一定か僅かに減少していた。

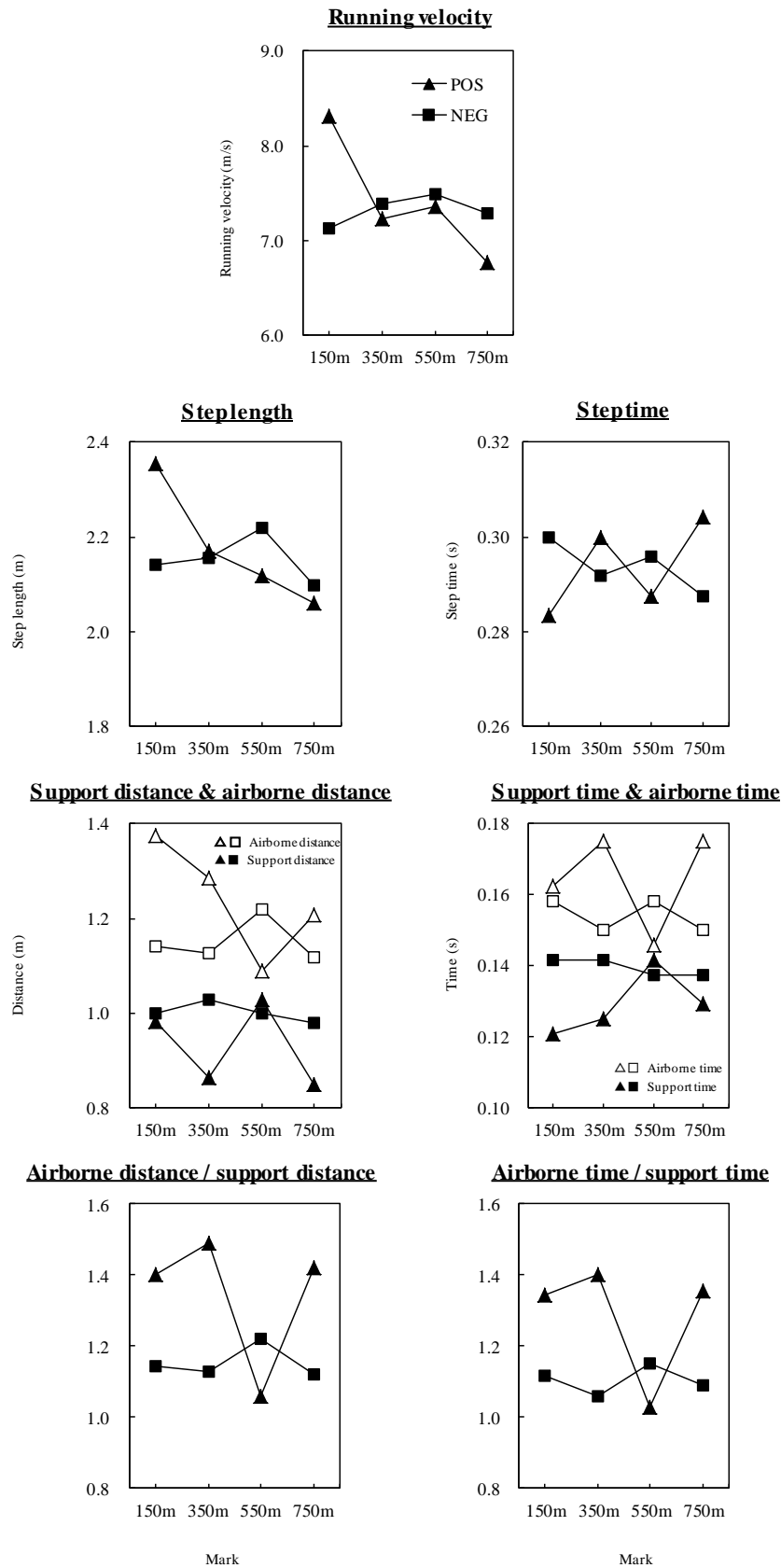


Figure 6-4 Running velocity, step length and step time at each mark in the 800m race for subjects POS (▲) and NEG (■).

支持期に対する滞空期の距離および時間の比率は、POS は 550m 地点で大きく減少して 750m 地点で再び増大し、NEG はほぼ一定か僅かに減少していた。

6.3.3 身体重心のキネマティクス

表 6-4 は、各地点における身体重心の動きに関するキネマティクスのパラメータを平均と標準偏差で示したものである。重心の下降については、H1 は、550m 地点が 350m 地点より有意に小さく ($p<0.01$)、750m 地点が 150m 地点および 350m 地点より有意に小さかった ($p<0.05$)。H4 は、350m 地点、550m 地点および 750m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.05$)。重心の上昇については、H2 は、350m 地点から 750m 地点にかけて減少したが、有意な変化はなかった。H3 は、550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.05$)。接地時および離地時における身体重心の水平速度は、350m 地点、550m 地点および 750m 地点が 150m 地点より有意に小さく、鉛直速度は 550m 地点および 750m 地点が 150m 地点より有意に小さかった。接地角度、離地角度、減速量 (DEC) および加速量 (ACC) に有意な変化はなかった。支持期の水平方向の平均力は、支持期前半および後半ともに有意な変化はなかった。鉛直方向の平均力は、支持期後半 ($p<0.05$) および支持期全体 ($p<0.01$) において、150m 地点が 550m 地点および 750m 地点より有意に大きかった。

図 6-5 は、POS および NEG の支持期の平均力を示したものである。POS の鉛直方向の全ての平均力は、150m 地点から 750m 地点にかけて全体的に減少する傾向を示した。NEG の水平方向の平均力は支持期の前後半ともレース後半において増大し、鉛直方向の平均力は支持期後半において維持されていた。

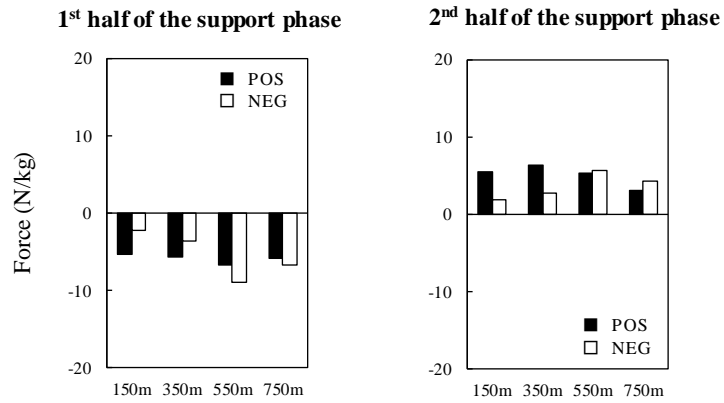
Table 6-4 Parameters related to motion for the center of gravity at each mark in the 800m race.

Variables			Mark				Difference
			150m	350m	550m	750m	
H1	(cm)		2.54 (0.42)	2.70 (0.28)	2.31 (0.32)	2.30 (0.33)	150m,350m>750m 350m>>550m
H2	(cm)		4.87 (0.40)	4.87 (0.50)	4.77 (0.70)	4.61 (0.88)	
H3	(cm)		2.31 (0.52)	2.09 (0.60)	1.69 (0.38)	2.00 (0.68)	150m>550m
H4	(cm)		4.99 (0.51)	4.43 (0.47)	4.33 (0.32)	4.21 (0.50)	150m>350m,550m,750m
Horizontal velocity of CG at the foot contact	(m/s)		7.70 (0.31)	7.20 (0.17)	7.27 (0.27)	7.20 (0.23)	150m>>350m 150m>550m,750m
Vertical velocity of CG at the foot contact	(m/s)		-0.80 (0.05)	-0.77 (0.07)	-0.73 (0.04)	-0.73 (0.09)	150m>>550m 150m>750m
Landing angle	(deg)		5.92 (0.53)	6.07 (0.44)	5.71 (0.36)	5.77 (0.76)	
Horizontal velocity of CG at the takeoff	(m/s)		7.71 (0.34)	7.32 (0.07)	7.34 (0.31)	7.29 (0.25)	150m>350m,550m,750m
Vertical velocity of CG at the takeoff	(m/s)		0.73 (0.06)	0.70 (0.10)	0.64 (0.05)	0.66 (0.08)	150m>>550m 150m>750m
Takeoff angle	(deg)		5.45 (0.52)	5.45 (0.72)	5.01 (0.44)	5.18 (0.67)	
DEC	(m/s)		-0.39 (0.13)	-0.31 (0.09)	-0.36 (0.12)	-0.36 (0.11)	
ACC	(m/s)		0.34 (0.20)	0.43 (0.13)	0.41 (0.06)	0.45 (0.10)	
Horizontal average force	1st half	(N/kg)	-5.09 (3.32)	-4.96 (1.78)	-5.42 (2.04)	-5.71 (1.77)	
	2nd half	(N/kg)	3.42 (2.23)	4.65 (1.45)	4.38 (1.14)	4.69 (1.27)	
Vertical average force	1st half	(N/kg)	25.30 (1.31)	23.60 (1.55)	24.16 (1.33)	23.71 (1.76)	
	2nd half	(N/kg)	19.17 (1.47)	18.75 (2.34)	17.45 (1.34)	17.89 (1.71)	150m>550m,750m
	whole	(N/kg)	21.57 (1.10)	20.66 (1.75)	20.08 (0.89)	20.11 (1.29)	150m>>550m,750m

Numerals in parentheses are standard deviations.

> indicate significant difference between marks. (> p<0.05, >> p<0.01, >>> p<0.001)

Horizontal average forces



Vertical average forces

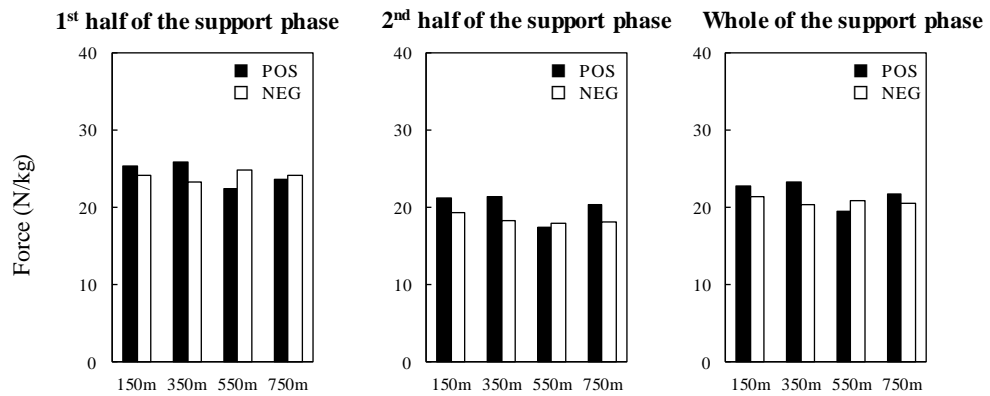


Figure 6-5 Average force during the support phase of subjects POS and NEG.

6.3.4 体幹および下肢のキネマティクス

図 6-6 は、1 サイクルの平均体幹角度、図 6-7 は、1 サイクルの各時点における大腿角度（上段）下腿角度（中段）および足角度（下段）を平均および標準偏差で示したものである。体幹角度に有意な変化はなかった。大腿角度は、フォワードスウィング終了時点（FS）において 750m 地点が他の 3 地点より有意に大きく（150m, $p<0.01$; 350m, $p<0.05$; 550m : $p<0.05$ ），大腿が前上方へ上がっていた。下腿角度は、接地時（FC）において 750m 地点が 150m 地点および 350m 地点より有意に小さく（ $p<0.01$ ），下腿がより垂直に近い姿勢で接地していた。フォロースルー終了時（FT）において 750m 地点が 150m 地点より有意に負の値が小さく（ $p<0.01$ ），逆足接地時（CFC）において 750m 地点が他の 3 地点より有意に負の値が小さく（150m, $p<0.01$; 350m, $p<0.05$; 550m : $p<0.05$ ），下腿の後上方への蹴り上がりが小さくなっていた。また、フォワードスウィング終了時（FS）において漸減し、550m 地点が 150m 地点（ $p<0.01$ ）および 350m 地点（ $p<0.05$ ）より有意に小さく、750m 地点が 150m 地点より有意に小さく（ $p<0.01$ ），前方への振り出しが小さくなっていた。足角度は、すべての地点において有意な変化はなかった。

図 6-8 は、1 サイクルの各局面における大腿（上段）、下腿（中段）および足（下段）の平均角速度を平均および標準偏差で示したものである。大腿角速度は、局面 3（TO-FT）において 750m 地点のみ正の値を示し、150m 地点（ $p<0.01$ ）および 350m 地点（ $p<0.05$ ）より正の値が有意に大きく、離地後の大腿の前方へのリカバリー開始が早まっていた。局面 4（FT-CFC）において 750m 地点が他の 3 地点より有意に大きく（150m, $p<0.05$; 350m, $p<0.01$; 550m, $p<0.05$ ），550m 地点が 350m 地点より有意に大きく（ $p<0.05$ ），大腿を前方へ引き出す速度が大きくなっていた。また、局面 8（FS-FC）において 750m 地点が 350m 地点より負の値が有意に大きく（ $p<0.01$ ），接地に向けて大腿を振り下

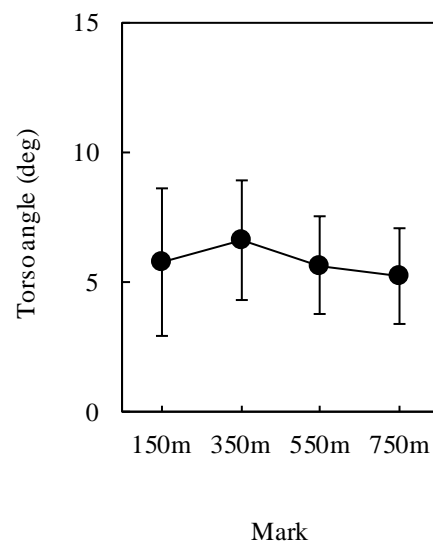


Figure 6-6 Averaged torso angle in one running cycle at each mark in the 800m race.

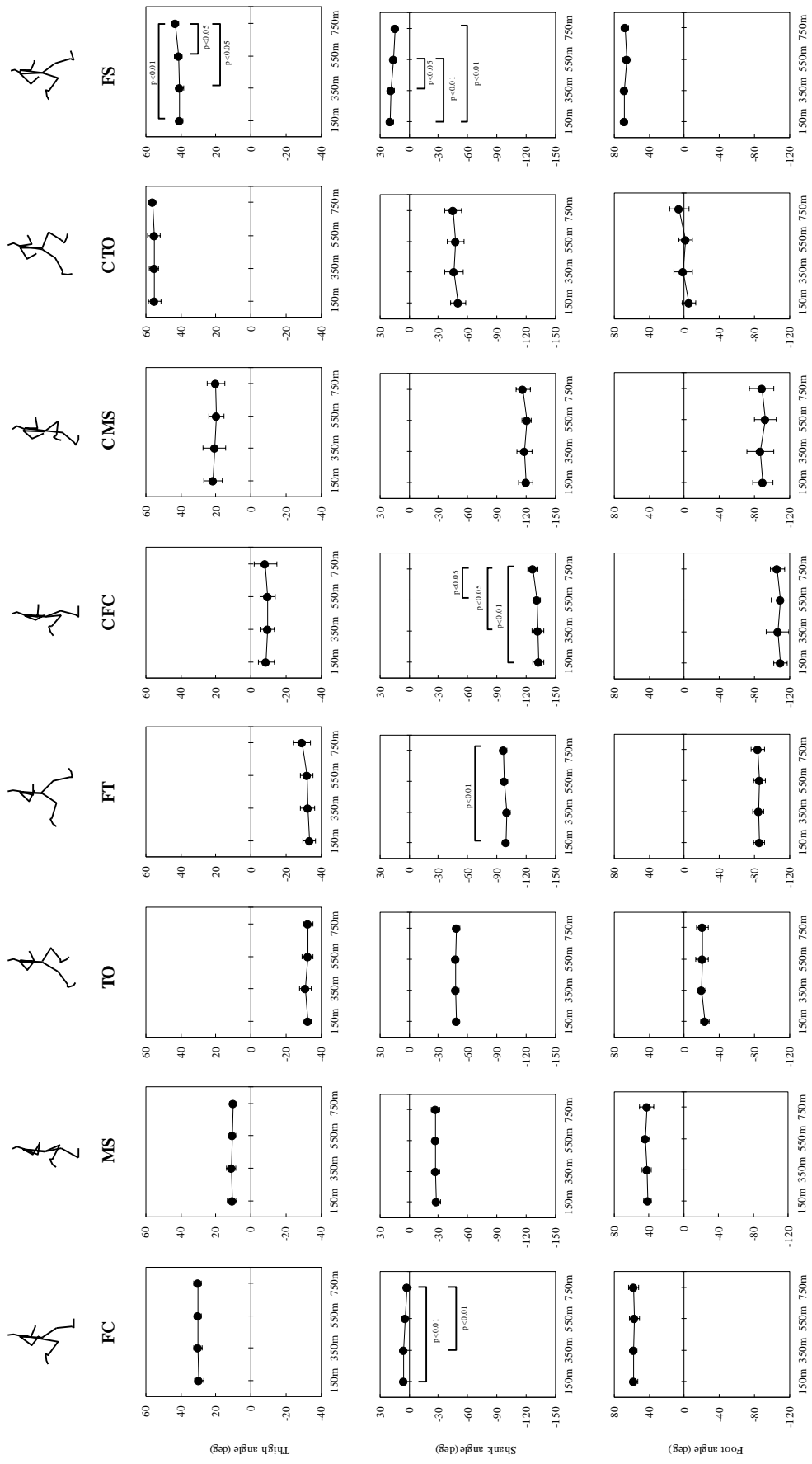


Figure 6-7 Means and standard deviations of thigh (upper), shank (middle) and foot (lower) angles in one running cycle at each mark.

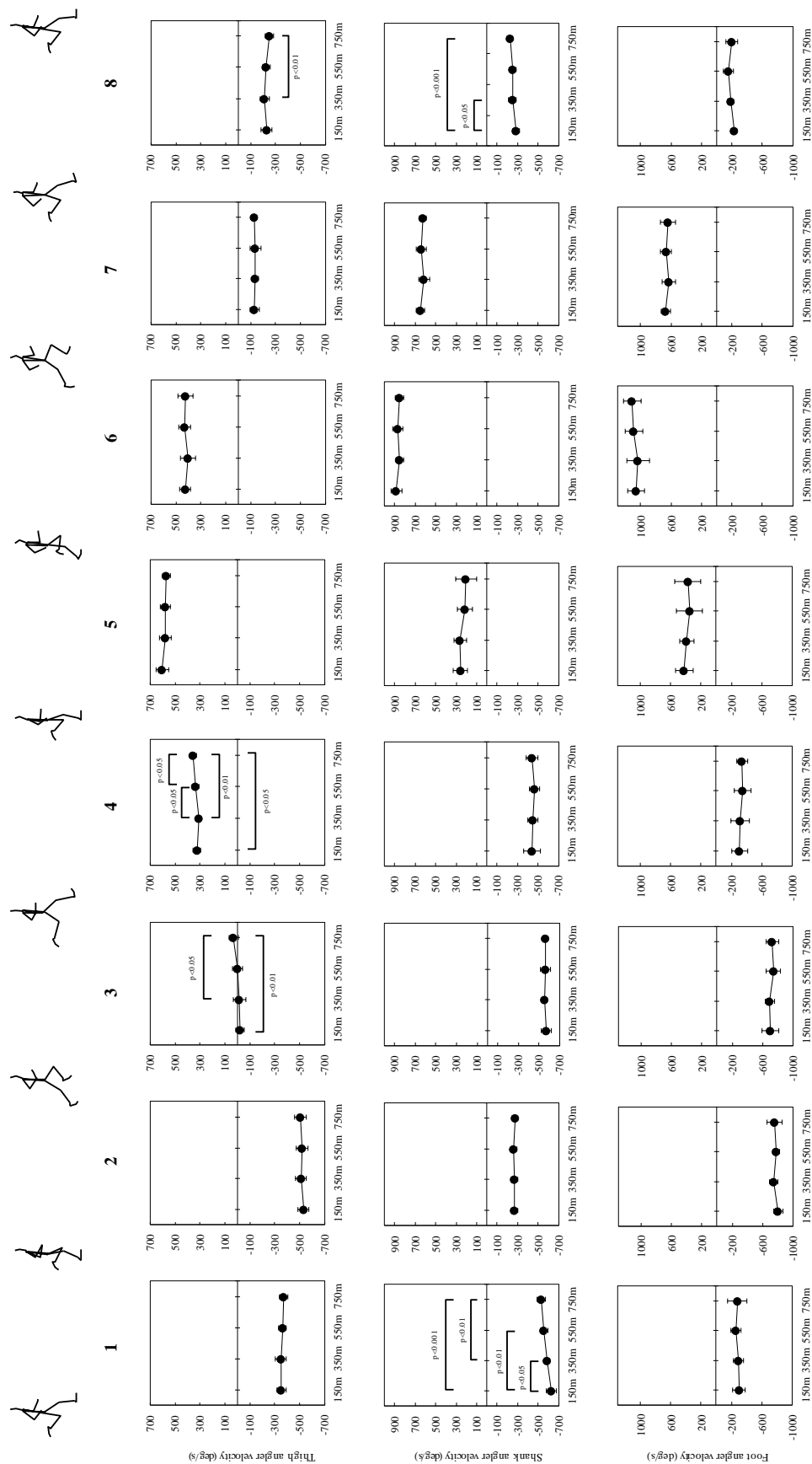


Figure 6-8 Means and standard deviations of averaged angular velocity of thigh (upper), shank (middle) and foot (lower) at each phase in one running cycle at each mark.

ろす速度が大きくなっていた。下腿角速度は、局面 1 (FC-MS) において 150m 地点から 750m 地点にかけて負の値が漸減し、150m 地点が他の 3 地点より有意に大きく (150m, $p<0.05$; 350m, $p<0.01$; 550m, $p<0.001$)、350m 地点が 750m 地点より有意に大きく ($p<0.01$)、レース後半において支持期前半における下腿の前傾速度が小さくなっていた。また、局面 8 (FS-FC) において 150m 地点から 750m 地点にかけて負の値が減少し、150m 地点が 350m 地点 ($p<0.05$) および 750m 地点 ($p<0.001$) より有意に大きく、レース後半において接地に向けて下腿を振り戻す速度が小さくなっていた。足角速度は、すべての地点において有意な変化はなかった。

図 6-9 は、POS および NEG の 1 サイクルの各局面における大腿 (上段) および下腿 (下段) の平均角速度を示したものである。大腿角速度は、POS は走速度の大きかった 150m 地点において局面 2 (MS-TO) および局面 3 (TO-FT) で負の値が大きく、走速度の小さかった 750m 地点において小さく、150m 地点では大きかった支持期後半からフォロースルー終了時にかけての大腿の後方へのスウィング速度が減少した。NEG は局面 6 (CMS-CTO) において正の値が増大し、また局面 8 (FS-FC) において負の値が増大し、回復脚大腿の前方への引き上げ速度および接地に向けた振り戻し速度が増大した。下腿角速度は、POS は走速度の大きかった 150m 地点において、局面 1 (FC-MS) および局面 3 (TO-FT) で負の値が大きく、局面 6 (CMS-CTO) および局面 7 (CTO-CFS) で正の値が大きく、支持期前半の下腿の前傾速度や、離地後の下腿の後上方への蹴り上がり速度、回復期後半の下腿の前方への振り出し速度が大きかった。また、走速度の小さかった 750m 地点においてこれらは減少した。NEG は、局面 3 (TO-FT) および局面 4 (FT-CFC) において負の値が増大し、また局面 7 (CTO-FS) において正の値が増大し、POS とは反対に離地後の下腿の後上方への蹴り上がり速度および回復期後半の下腿の前方への振り出し速度が増大した。

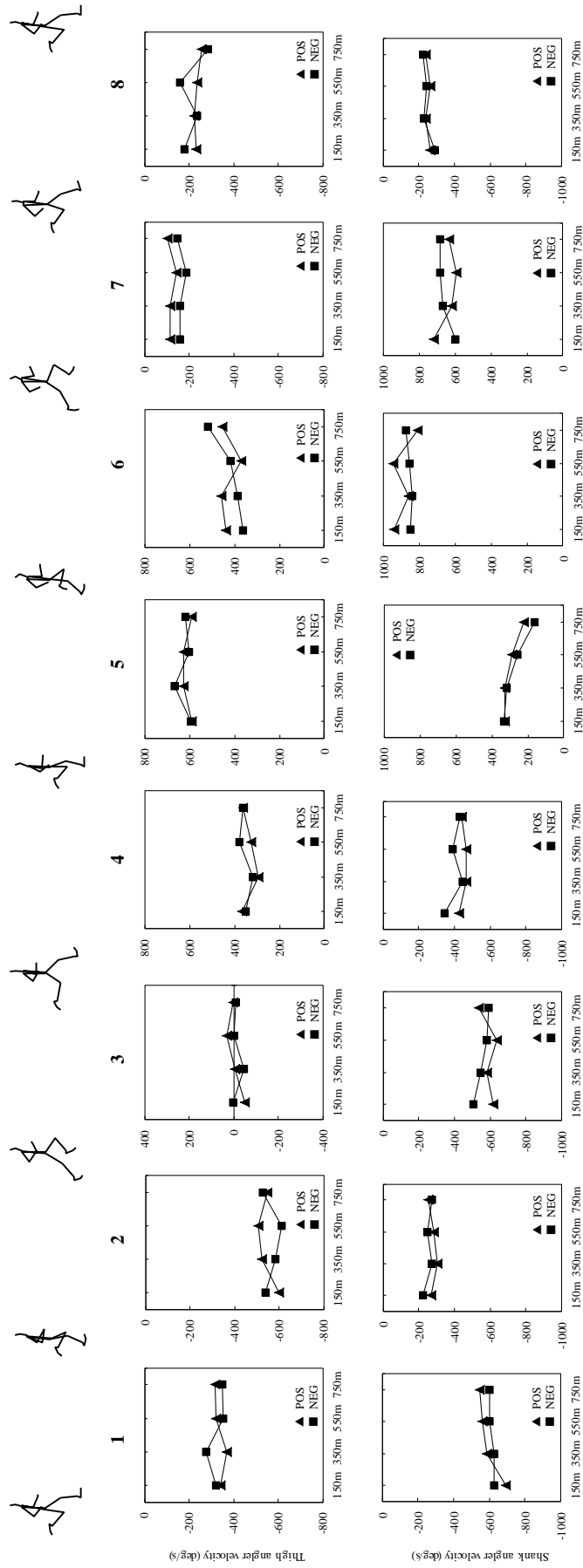


Figure 6-9 Averaged angular velocity of thigh (upper) and shank (lower) at each phase one running cycle for subjects POS and NEG.

6.3.5 回復脚のキネティクス

図 6-10 は、局面 3 (TO-FT) から局面 8 (FS-FC) における回復脚の股関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段)、図 6-11 は、膝関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段) を平均および標準偏差で示したものである。トルクの符号は、正が伸展、負が屈曲を表す。なお、足関節トルクは回復期においてほとんど発生しないため、結果は省略した。股関節平均トルクは、局面 3 (TO-FT) において 350m 地点が他の 3 地点より有意に小さく (150m, $p<0.05$; 550m, $p<0.05$; 750m, $p<0.01$)、局面 4 (FT-CFC) において 350m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.05$)。股関節平均トルクパワーは、すべての地点において有意な変化はなかった。膝関節平均トルクは、局面 3 (TO-FT) および局面 7 (CTO-FS) において 750m 地点が 350m 地点より有意に大きかった ($p<0.01$)。膝関節平均トルクパワーは、局面 8 (FS-FC) において 150m 地点のみ正の値を示し、他の 3 地点より正の値が有意に大きかった (350m, $p<0.05$; 550m, $p<0.05$; 750m, $p<0.001$)。図 6-12 は、局面 3 (TO-FT) から局面 8 (FS-FC) における股関節の正仕事 (上段) および負仕事 (下段)、図 6-13 は、膝関節の正仕事 (上段) および負仕事 (下段) を平均および標準偏差で示したものである。股関節、膝関節ともすべての地点において有意な変化はなかった。

図 6-14 は、POS および NEG の局面 3 (TO-FT) から局面 8 (FS-FC) における回復脚の股関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段)、図 6-15 は、膝関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段) を示したものである。股関節平均トルクは、POS は局面 3 (TO-FT) および局面 4 (FT-CFC) において 150m 地点から 750m 地点にかけて屈曲トルクが、局面 7 (CTO-FS) および局面 8 (FS-FC) において 150m 地点から 750m 地点にかけて伸展トルクがそれぞれ減少する傾向を示した。また、股関節平均トルクパワーは、局面 4 (FT-CFC) および局面 8 (FS-FC) におい

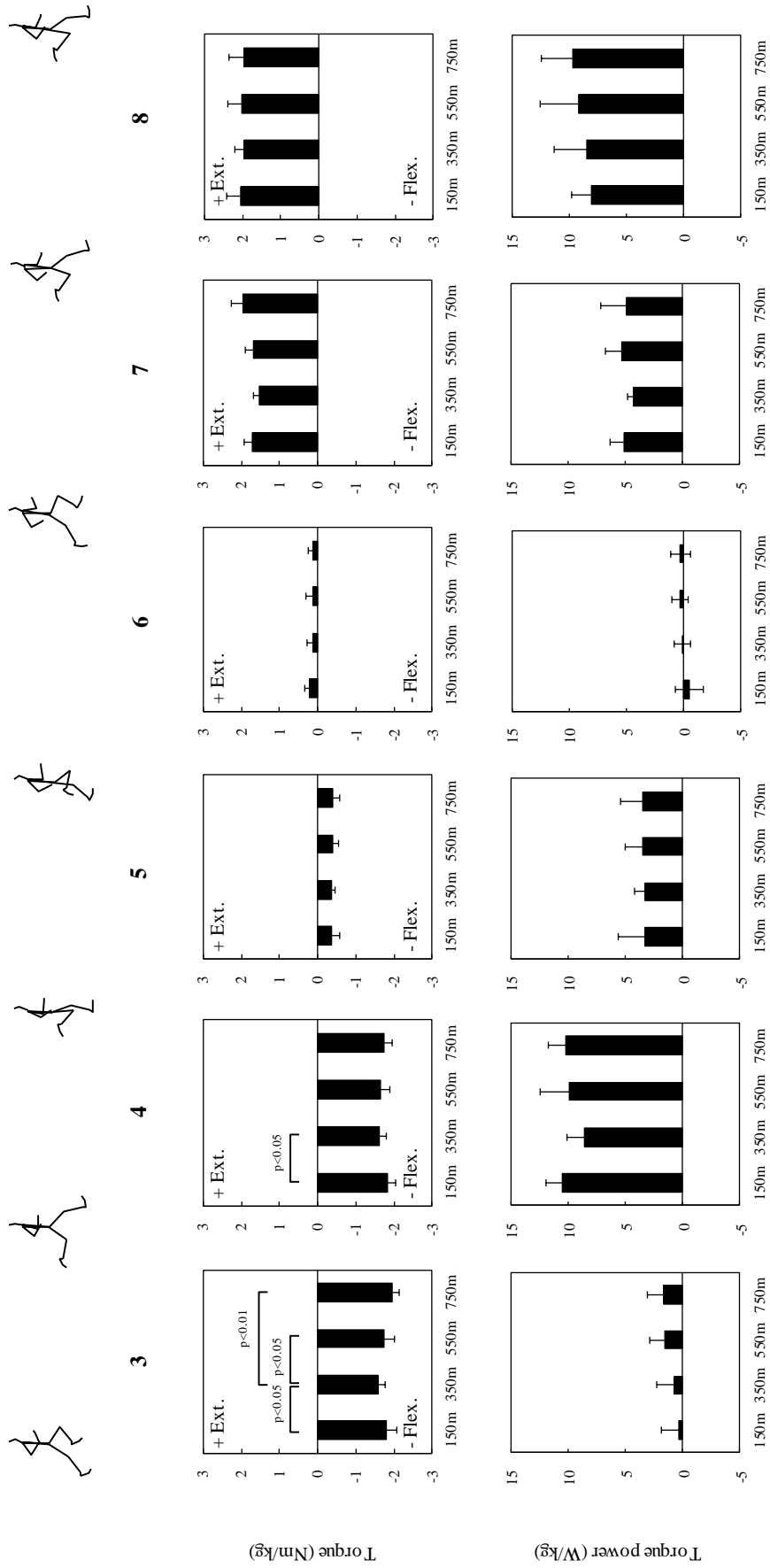


Figure 6-10 Means and standard deviations of averaged hip joint torque (upper) and torque power (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark.

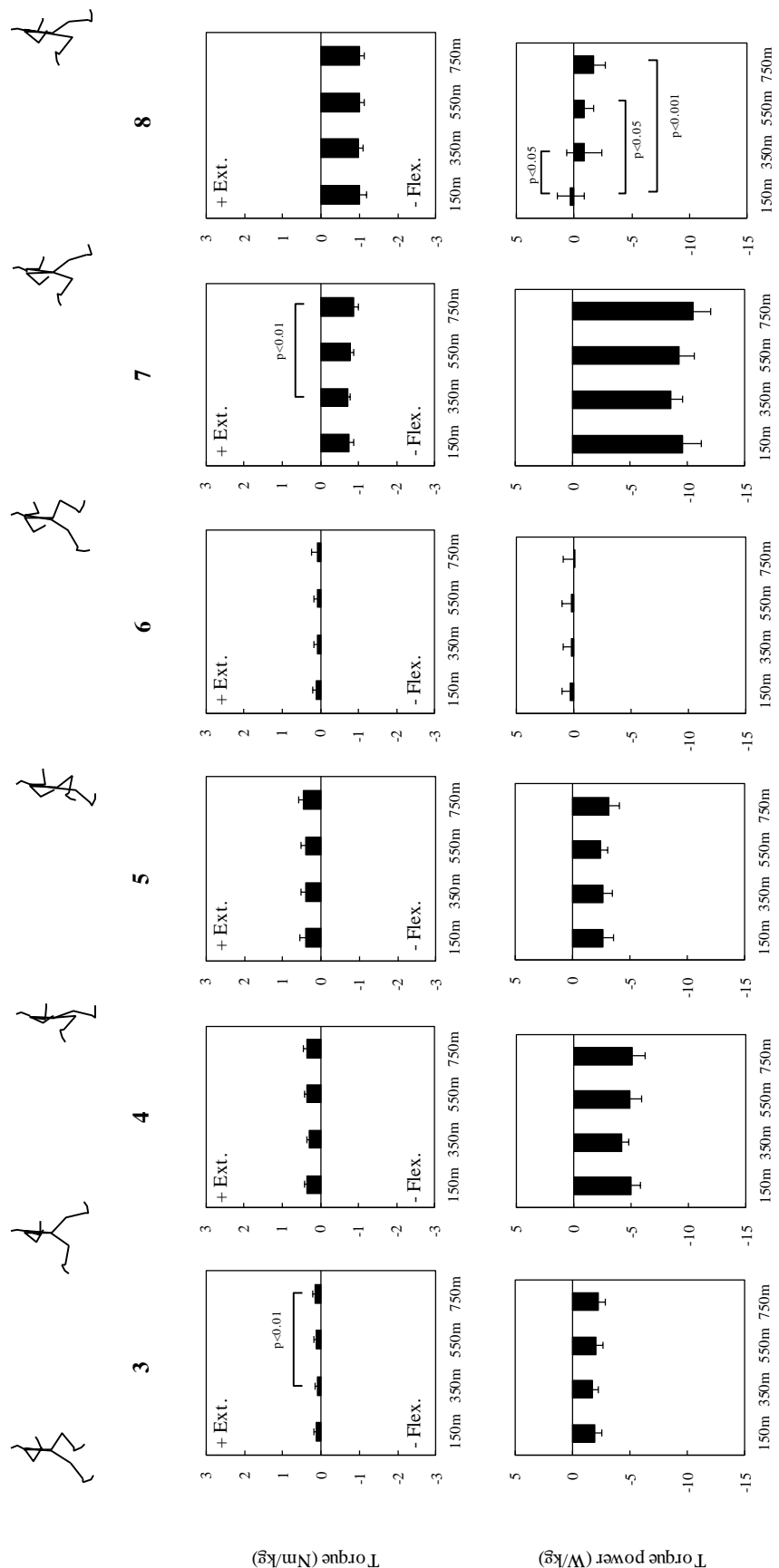


Figure 6-11 Means and standard deviations of averaged knee joint torque (upper) and torque power (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark.

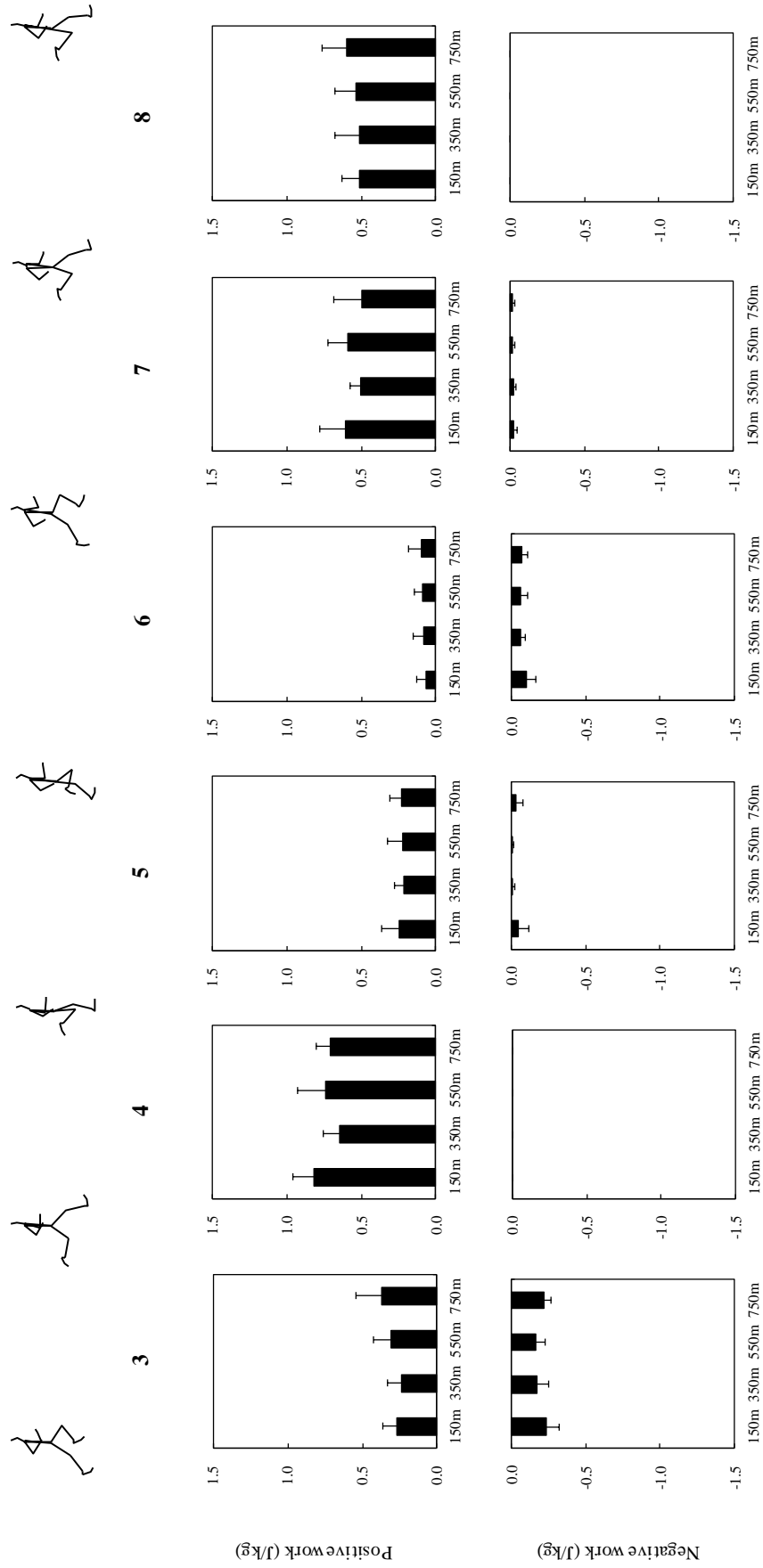


Figure 6-12 Means and standard deviations of hip joint positive (upper) and negative work (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark.

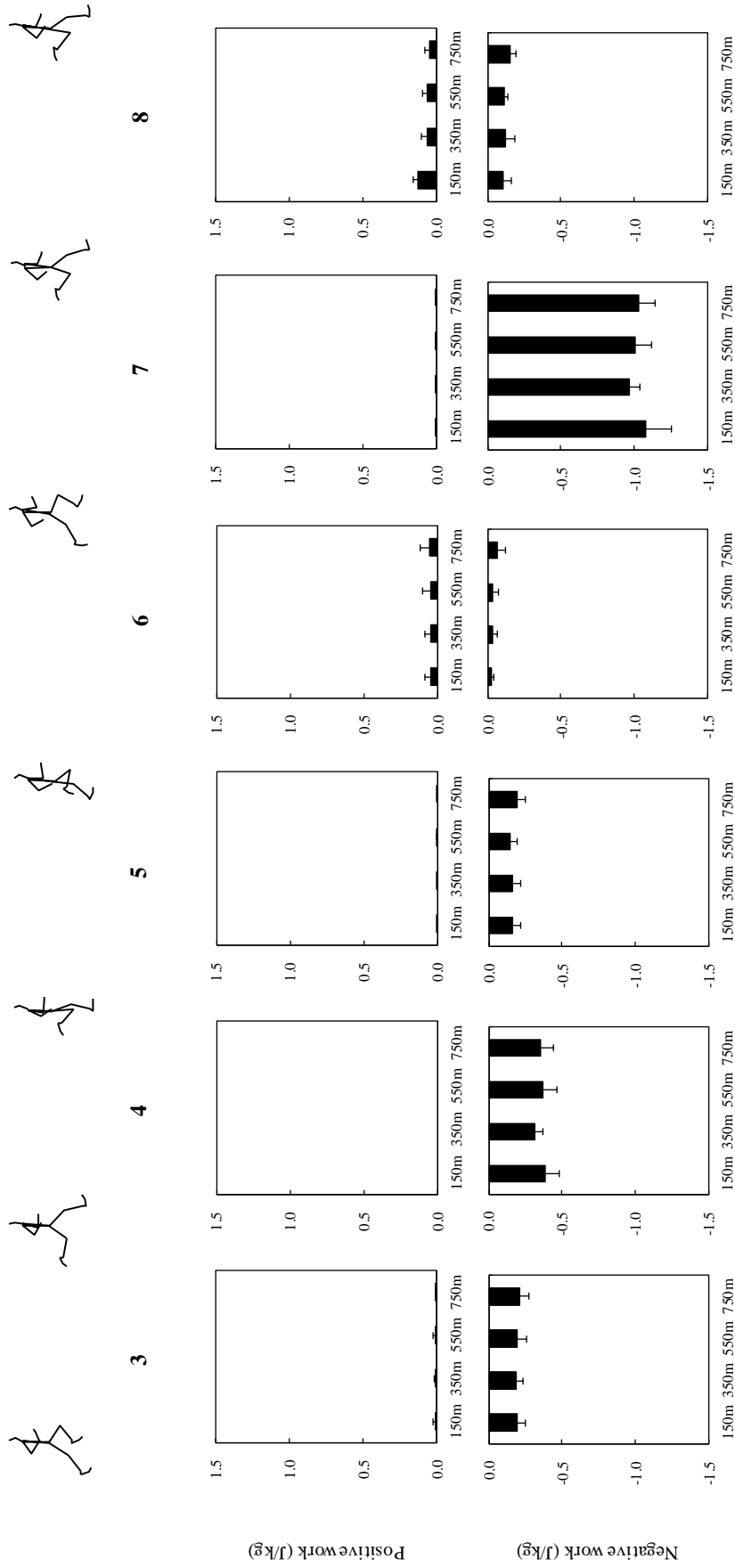


Figure 6-13 Means and standard deviations of knee joint positive (upper) and negative work (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark.

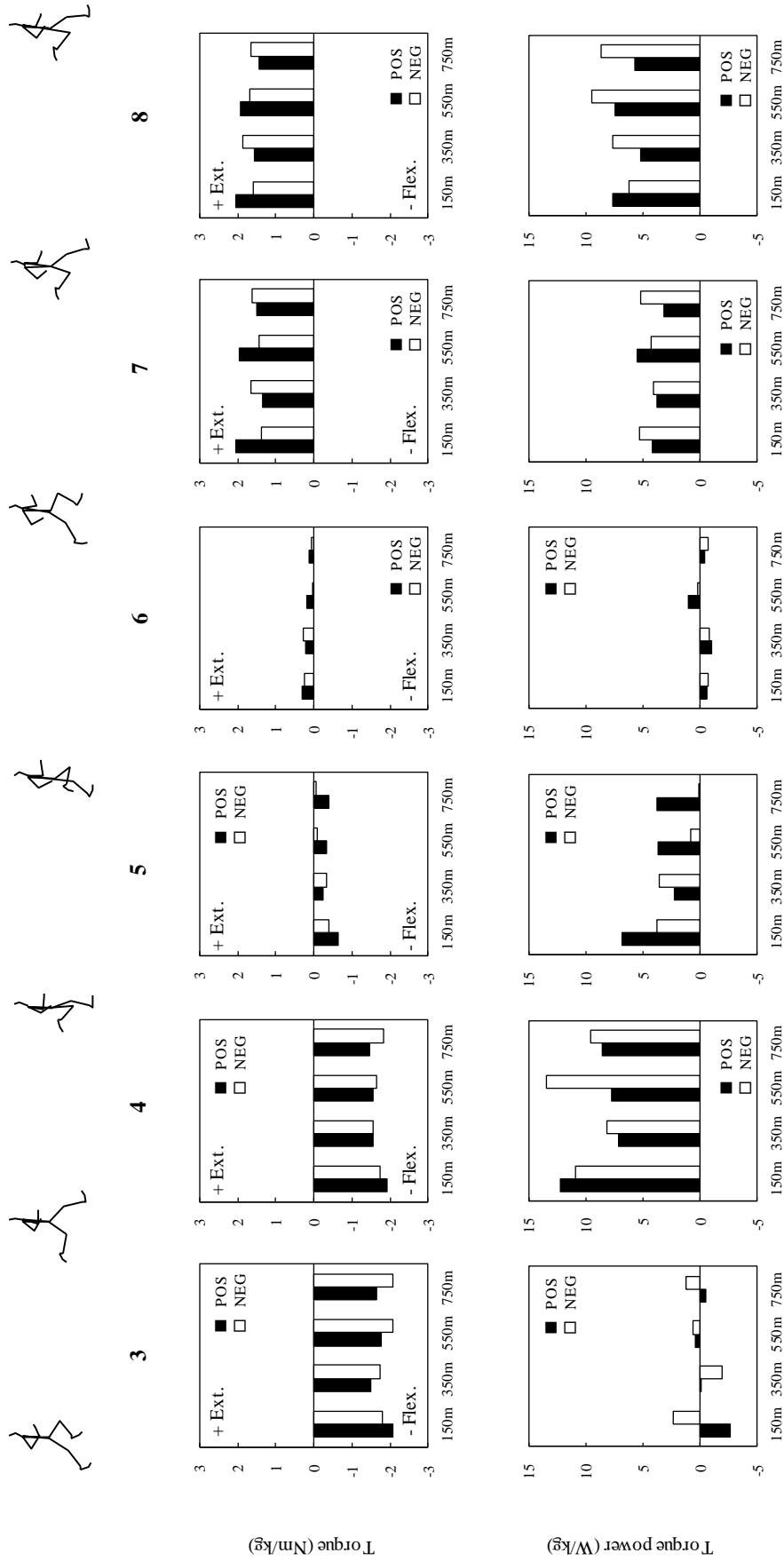


Figure 6-14 Averaged hip joint torque (upper) and torque power (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark for subjects POS and NEG.

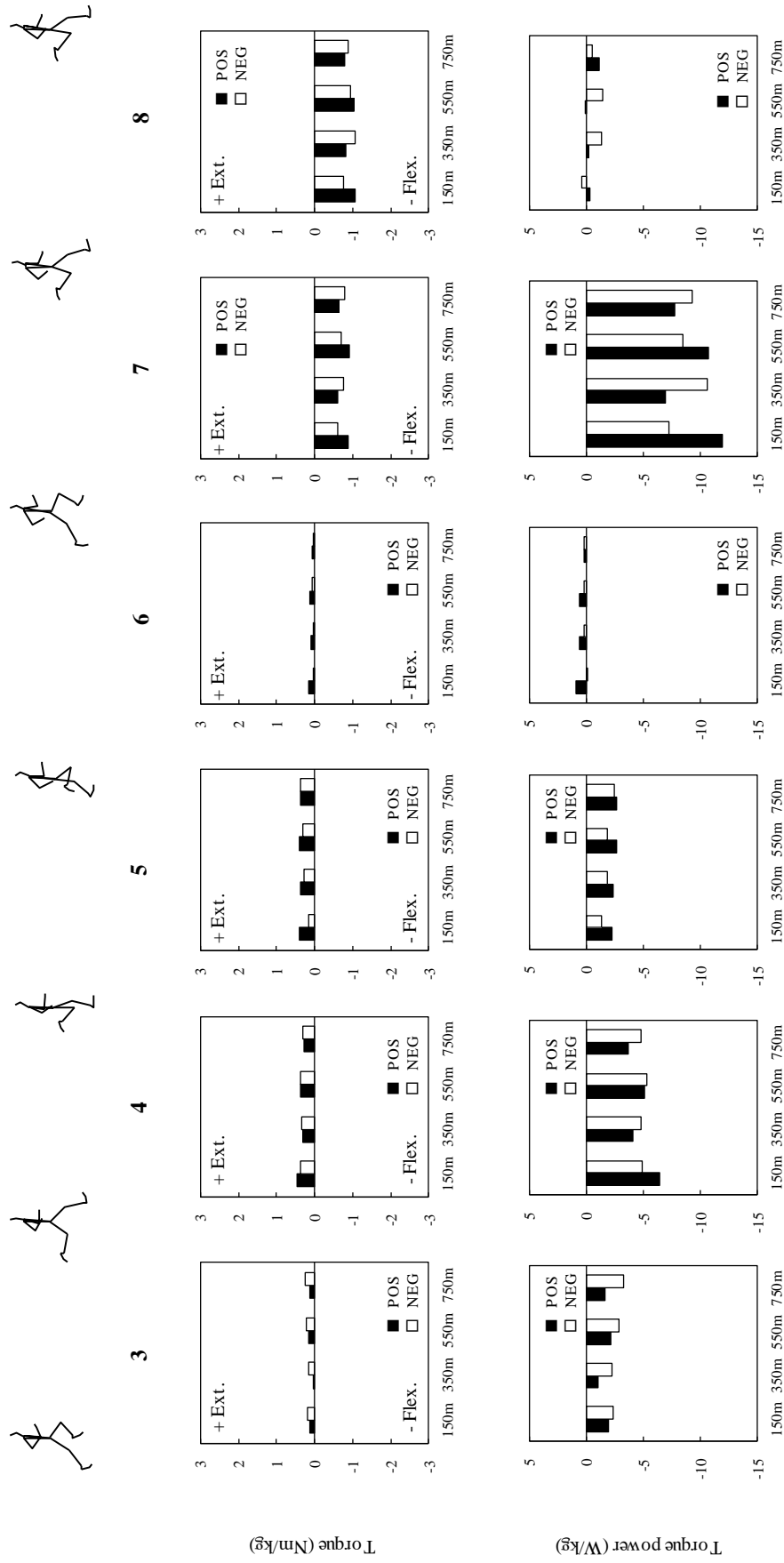


Figure 6-15 Averaged knee joint torque (upper) and torque power (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark for subjects POS and NEG.

て 150m 地点から 750m 地点にかけて正のパワーが減少する傾向を示した。NEG のトルクは全ての局面においてほぼ維持されており、トルクパワーは局面 8 (FS-FC) において 150m 地点から 750m 地点にかけて正のパワーが増大する傾向を示した。膝関節平均トルクパワーは、POS は局面 7 (CTO-FS) において 150m 地点から 750m 地点にかけて負のパワーが減少する傾向を示し、NEG は反対に増大した。図 6-16 は、POS および NEG の局面 3 (TO-FT) から局面 8 (FS-FC) における股関節の正仕事（上段）および負仕事（下段）、図 6-17 は、膝関節の正仕事（上段）および負仕事（下段）を示したものである。股関節仕事は、POS は局面 4 (FT-CFC) において 150m 地点から 750m 地点にかけて正仕事が減少する傾向を示し、NEG は維持していた。膝関節仕事は、POS は局面 4 (FT-CFC) および局面 7 (CTO-FS) において 150m 地点から 750m 地点にかけて負仕事が減少する傾向を示し、NEG は局面 7 (CTO-FS) において POS と反対に増大する傾向を示した。

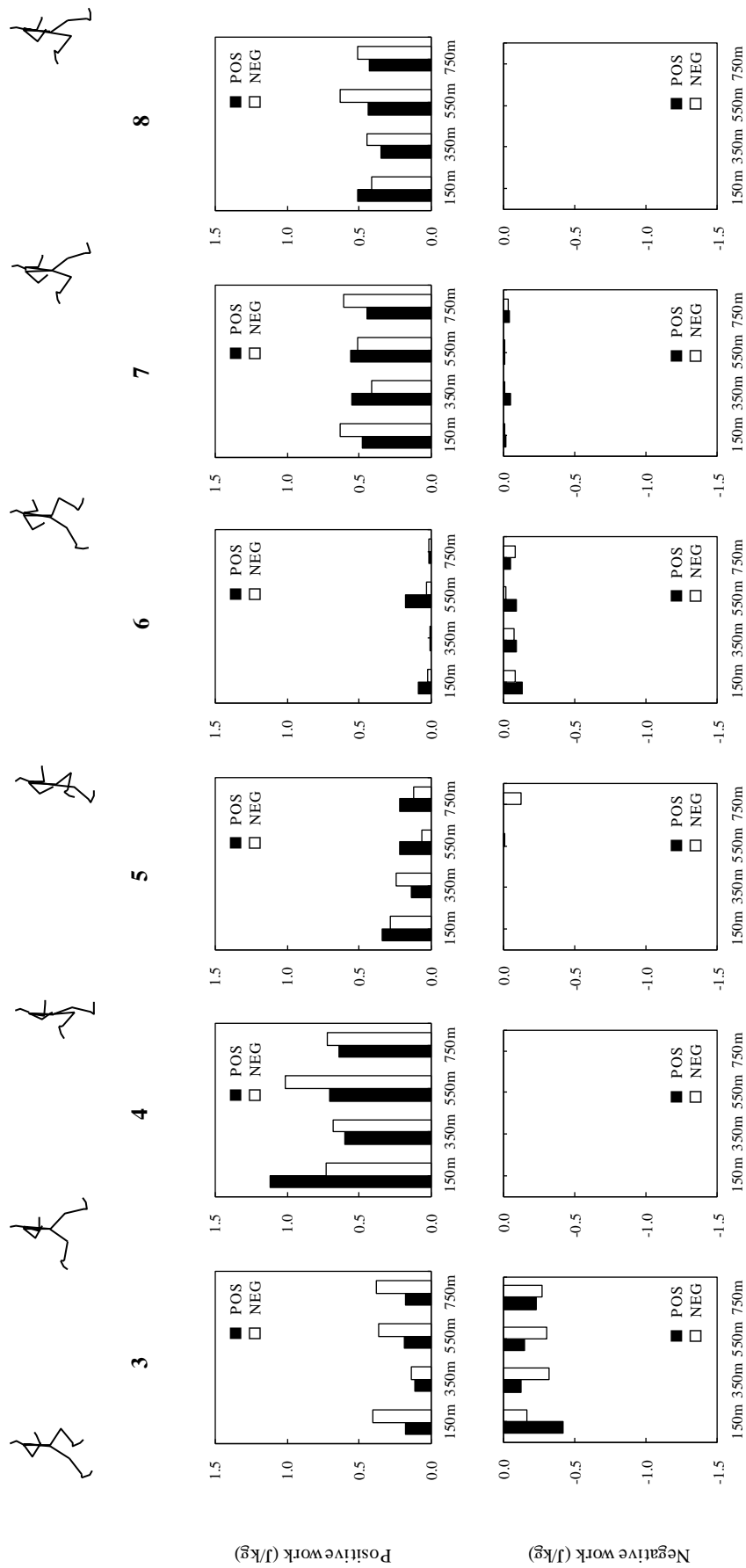


Figure 6-16 Hip joint positive (upper) and negative work (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark for subjects POS and NEG.

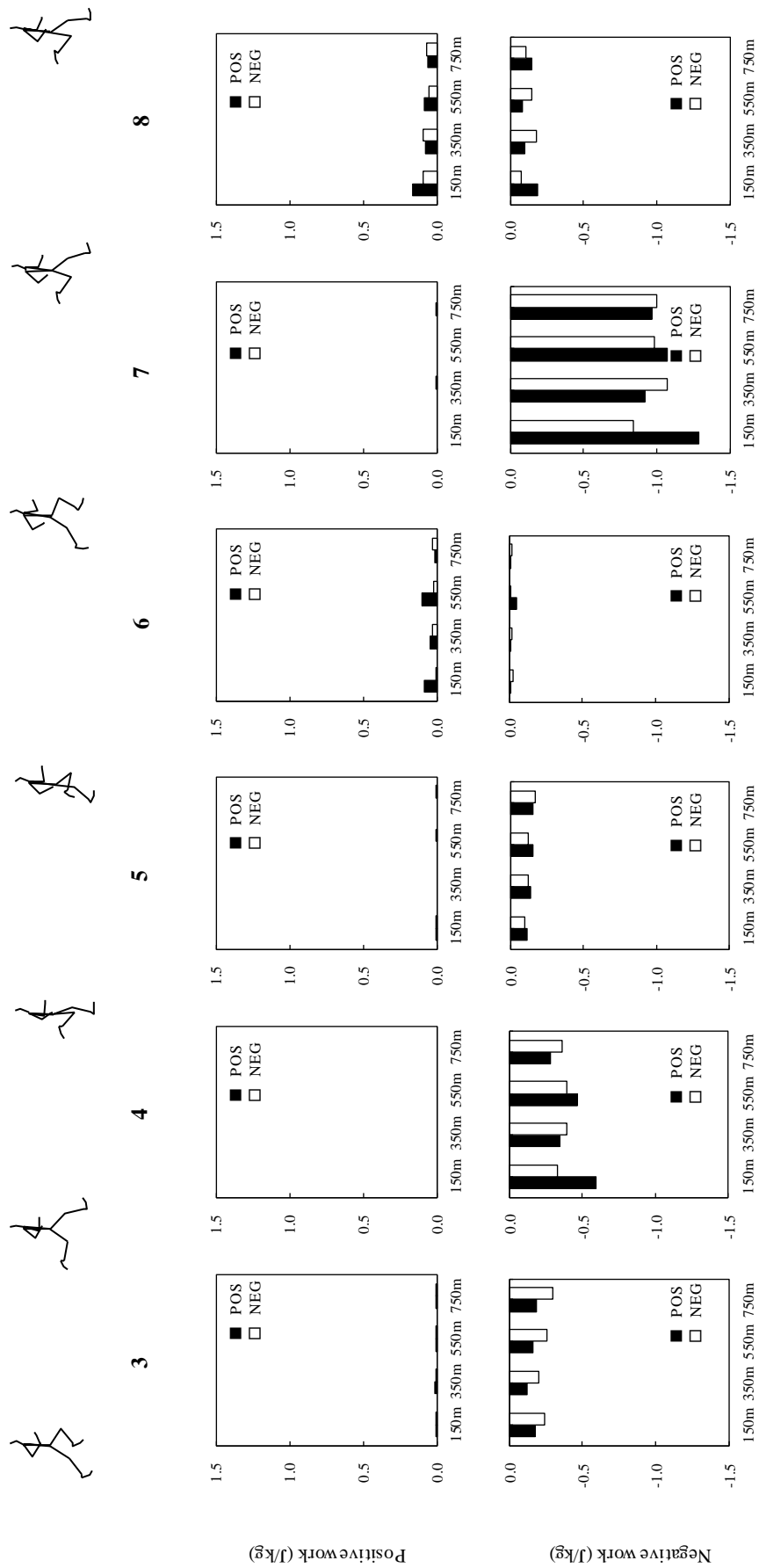


Figure 6-17 Knee joint positive (upper) and negative work (lower) from phase 3 to 8 during recovery phase at each mark for subjects POS and NEG.

6.4 考察

分析対象者の相対走スピードは、0~120m 区間において第 5 章で明らかとなった平均レースパターンより大きく、700~800m 区間において小さかったが、標準偏差を加味すると、概ね平均レースパターンで走っていたと解釈できるだろう（図 6-1）。したがって、分析対象者の走動作の変化について検討することで、800m レースにおける平均的な走動作の特徴を明らかにすることができると思われる。本研究では 150m、350m、550m および 750m の合計 4 地点の走動作を分析した。150m 地点および 350m 地点はレース前半であるため、レース後半に比べて疲労の影響は比較的小さいと考えられるが、レース後半に入るにしたがって疲労の影響が大きくなるため、550m 地点や 750m 地点の走動作は次第に疲労の影響を受けるであろう。そこで、まずレースの局面を前半（150m 地点および 350m 地点）と後半（550m 地点および 750m 地点）の 2 つに分け、走動作の平均的な特徴についての考察を進める。次に、これらの平均的な特徴を踏まえ、前半型および後半型のレースパターンで走った際の走動作の特徴について事例的に考察する。

6.4.1 レース前半の走動作の特徴

800m 走のレース前半は、120~200m 区間で走スピードが最大に達し、その後 400m にかけて走スピードが漸減していくようなパターンとなる（図 6-1）。800m 走では、選手はスタートラインからブレイクラインまでの 120m はそれぞれのレーンに分かれて走り、ブレイクラインを通過後には自分のレーンを離れて走ることができ、集団が形成される。この時、選手は集団の中で少しでも有利な位置を確保するために駆け引きを行なうため、0~120m 区間および 120~200m 区間において走スピードが大きくなる。そして、おおよそ 200m 付近で集団が形成され、200~400m では選手同士の駆

け引きはあまりみられず、集団の走スピードが漸減していく傾向にある。

150m 地点では走速度が最も大きく、ステップ長がレース中で最大となっていた。350m 地点では主に滞空期距離の減少によりステップ長が有意に減少し ($p<0.01$)、走速度が有意に減少した ($p<0.01$) (図 6-3)。また、150m 地点では支持期に対して大きな滞空期の距離および時間を得ており、離地時の身体重心の鉛直速度および滞空期の上下動 (H3, H4) が大きかった (表 6-4)。本章ではレース中の走動作を分析したため、地面反力を計測することができなかった。そこで、式 (1) ~ (5) により支持期の平均力を推定したところ、150m 地点において鉛直方向の平均力が大きく (表 6-4)、350m 地点ではこれらが減少していた。これらのことから 150m 地点では地面に対して鉛直方向に大きな力を作用させ、離地時に大きな身体重心の鉛直速度を獲得し、大きな滞空期の距離および時間を得ており、350m 地点では 150m 地点より地面に対して鉛直方向への力発揮が減少し、滞空期の上下動が小さい動作へと変化したと考えられる。150m 地点のステップ頻度はレース中で最大ではなかったが、これはスタート~120m の加速区間でステップ頻度が既に最大となっており、120m 以降は 400m にかけて減少していくためである (第 5 章, 図 5-3)。

150m 地点の下肢の動きに着目すると、150m 地点においてフォワードスウィング終了時 (FS) に下腿が前方へ大きく振り出された後 (図 6-7)、局面 8 (FS-FC) において接地に向けて素早く振り戻され、支持期前半における前傾角速度がレース中で最も大きかった (図 6-8)。また、局面 8 (FS-FC) における膝関節トルクパワーが値は小さいが唯一正の値を示し (図 6-11)、正の仕事も有意ではないが最も大きく (図 6-13)、これらによって前方へ大きく振り出された下腿が接地に向けて振り戻され、接地後の素早い下腿の前傾動作が行なわれたと考えられる。局面 2 (MS-TO) における大腿角速度 (図 6-8)、離地時 (TO) およびフォロースルー終了時 (FT) における大腿角度 (図 6-7) が有意で

はないが 350m 地点より大きい傾向がみられた。また、局面 3 (TO-FT) および局面 4 (FT-CFC) における股関節屈曲トルクが 350m 地点より有意に大きく (図 6-10)、局面 4 (FT-CFC) における大腿角速度 (図 6-8)、股関節正トルクパワー (図 6-10) および正仕事 (図 6-12) が有意ではないが 350m 地点より大きい傾向がみられた。これらは、150m 地点では 350m 地点より、離地後に回復脚の大腿を後方へ大きく流し、その後大きな股関節屈曲トルクの発揮により回復脚を前方へ素早く引き出す動作を行っていたことを示している。一般に、走速度の増大に伴って回復脚の股関節と膝関節におけるトルクおよびトルクパワー、仕事が増大することが知られており (阿江ら, 1986)、大きな速度で疾走する上で重要とされている。支持脚下腿の素早い前傾動作についても、短距離走 (宮下ら, 1986) や長距離走 (榎本, 2008) において走速度との関係が強いことが報告されている。また、下腿は接地後において、ブレーキを小さくして身体を水平前方向へ加速するのに貢献する (阿江ら, 1988)。したがって、走速度が大きかった 150m 地点では、一般に大きな走速度で疾走する上で重要とされる動作の特徴がよくあらわれていたといえる。

350m 地点の下肢の動きに着目すると、局面 8 (FS-FC) および局面 1 (FC-MS)、すなわち接地直前から支持期前半における下腿の前傾角速度が 150m 地点より有意に減少した ($p<0.05$) (図 6-8)。この時、局面 8 (FS-FC) における膝関節トルクパワーが、150m 地点では正の値を示したが 350m 地点では負の値を示しており (図 6-11)、これにより接地に向けた下腿の振り戻しが弱まったと考えられる。また、離地時 (TO) およびフォロースルー終了時 (FT) の大腿角度 (図 6-7) が有意ではないが 150m 地点より小さくなり、離地後の回復脚大腿の後方への動きが小さくなった。そして、局面 3 (TO-FT) における股関節屈曲トルクおよび局面 4 (FT-CFC) における股関節屈曲トルク、正トルクパワー (図 6-10)、正仕事 (図 6-12) が 150m 地点より減少した。前述したように、支持脚下

腿の前傾角速度や回復脚の股関節および膝関節トルク，トルクパワー，仕事は，一般に走速度との関係が強い．350m 地点は，上述したように 200m 付近で集団が形成され，200～400m では選手同士の駆け引きはあまりみられず，集団の走スピードが漸減していく局面にあたる．また，レース前半であるためレース後半に比べて疲労の影響は小さいと考えられる．したがって，150m 地点から 350m 地点へのこれらのキネマティクスおよびキネティクスのパラメータの減少には疲労による影響は比較的小さいく，0～200m で形成された集団の走スピードが減少した結果生じたと解釈すべきであろう．

6.4.2 レース後半の走動作の特徴

800m 走のレース後半は，平均走スピードの 97.5～99.5%に相当する走スピードで疾走している（表 6-3）．また，疲労の影響が出始めるため，選手は疲労に抗するように走スピードの維持に努めている．

550 地点および 750m 地点の走速度は 350m 地点とほぼ同じであったが，ステップ長およびステップ時間が漸減した（図 6-3）．ステップ長およびステップ時間の漸減は主に滞空期の距離および時間の漸減によるものであり，支持期に対する滞空期の距離および時間の比率も漸減した．また，支持期後半および全体における鉛直方向の平均力，離地時の身体重心の鉛直速度および滞空期の上下動（H3，H4）がレース前半より減少していたことから（表 6-4），レース後半に入り，疲労によって地面に対して大きな力を作用させることができなくなり，滞空期距離が減少してステップ長が減少したと考えられる．本研究ではレース中の走動作を分析したため，地面反力を計測することができず，地面反力や支持脚のキネティクスについては言及できない．しかし，地面と直接的に力を授受する

身体部位は支持脚であることを考慮すると、支持脚に疲労が生じたことにより地面に対して大きな力を作用させることができなくなった可能性が示唆される。そして、ステップ長が減少する中で走速度を維持するために、滞空期時間の短縮によってステップ時間を短縮させ、すなわち動きをピッチ型に変化させることで走速度を維持していたと考えられる。

下肢の動きに着目すると、350m 地点から 750m 地点にかけてフォワードスウィング終了時 (FS) における大腿角度が漸増して下腿角度が漸減し (図 6-7)、大腿が高く上がり下腿の前方への振り出しの小さい姿勢に変化した。戸谷 (1997) は、21 名の 800m 選手のレース中の 350m 地点と 550m 地点の走動作を比較し、550m 地点ではステップ頻度が有意に増大し、体幹が後傾して回復脚の大腿が身体の前より前方で動くようになり、下腿の前方への振り出しが小さくなったと述べている。本研究においては、体幹角度には変化がみられなかったが (図 6-6)、脚の動きについては戸谷 (1997) の結果と類似していた。この時、局面 7 (CTO-FS) における膝関節屈曲トルク、トルクパワー (図 6-11) および負仕事 (図 6-13) が有意ではないが 350m 地点より漸増しており、これらによって下腿の前方への振り出しが抑制されたと考えられる。また、局面 8 (FS-FC) における大腿角速度 (図 6-8) が漸増した。この時、局面 7 (CTO-FS) における股関節伸展トルク、そして続く局面 8 (FS-FC) における股関節正トルクパワー (図 6-10) および正仕事 (図 6-12) が漸増しており、これらが高く上がった大腿を、接地に向けて素早く振り下ろす動作に繋がったと考えられる。一般に、局面 7 (OTO-FS) における膝関節負仕事は下腿の前方への振り出しを抑制するように、また局面 8 (FS-FC) における股関節正仕事は接地に向けて大腿を振り下ろすように作用し、走速度のみならずステップ頻度との関係も非常に強い (阿江ら, 1986)。したがって、これらの変化が、レース後半における滞空時間の漸減、すなわちピッチ型の動きへの変化と関係していると考えられる。

このように、局面 8 (FS-FC) における大腿角速度は増大したが、一方で下腿角速度は特に 550m 地点から 750m 地点にかけて減少した (図 6-8)。図 6-18 は、局面 8 (FS-FC) における大腿および下腿角速度を示したものである。550m 地点までは下腿角速度の方が大きい、750m 地点では大腿角速度の方が大きいことがわかる。このことは、レース前半では下腿を積極的に降り戻すように接地していたのに対し、レース後半では大腿を積極的に振り戻すように接地していたことを示している。

また、局面 1 (FC-MS) における下腿の前傾角速度が漸減しており (図 6-8)、これらには接地直前の下腿の角速度の減少が影響していると考えられる。先に述べたように、下腿は接地直後において身体を水平方向へ加速させる機能を持つが (阿江ら, 1988)、この機能を十分に果たすためには、接地直前の下腿の角速度を増大させておく必要があると考えられる。しかし、レース後半では、非支持期時間を短縮するために、接地に向けて下腿よりも大腿を素早く振り下ろす動作へと変化したため、フォワードスウィング終了時 (FS) から接地にかけての下腿角速度が減少し、このことが接地直後の下腿の前傾角速度の減少に繋がったと考えられる。

局面 4 (FT-CFC) における大腿角速度がレース前半より有意に増大し ($p<0.05$) (図 6-8)、大腿の前方への引き出し動作が速くなった。また、局面 3 (TO-FT) における大腿角速度はレース前半では負、550m 地点ではほぼゼロであったのに対し、750m 地点では正に転じていた。さらに、フォロースルー終了時点 (FT) および逆足接地時 (OFC) における下腿角度が小さくなった (図 6-7)。つまり、離地後の回復脚股関節の屈曲および大腿の前方への引き出しの開始が早まり、脚が後方へ流れなくなった。また、その大腿の引き出し速度も大きく、下腿の後上方への蹴り上がり動作が小さくなっていった。永井ら (1988) は、11 名の中距離走者を実験的に 800m 走を行なわせ、350m 地点と 750m 地点の走動作を比較している。その結果、750m 地点において走速度が増大した 6 名のステッ

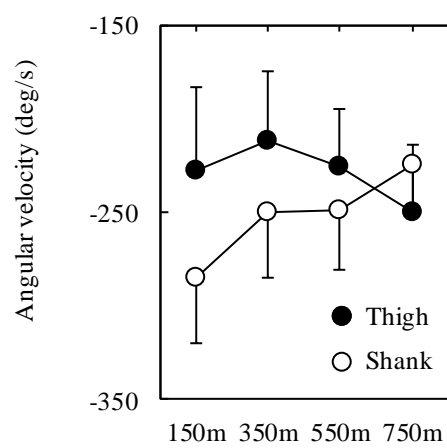


Figure 6-18 Averaged thigh and shank angular velocity during phase 8 at each mark.

ブ頻度は増大し、回復脚の大腿角速度が増大し、身体のより前方で動くように変化したと述べている。永井ら（1988）が示した走速度が増大した選手らのキネマティクスの特徴は本研究の結果と類似するものであるが、キネティクスについては触れられていない。そこでキネティクスに着目すると、局面 3（TO-FT）における股関節の屈曲トルク、正トルクパワー（図 6-10）、正仕事（図 6-12）および膝関節の伸展トルク、負トルクパワー（図 6-11）、負仕事（図 6-13）が 350m 地点より増大した。これらのトルク、トルクパワーおよび仕事は、離地後に回復脚大腿が後方へ流れる動作や下腿が後上方へ蹴り上がる動作を止め、前方へ引き出すように作用する。また、これらはステップ頻度との関係が非常に強いことが報告されている（阿江ら，1986）。したがって、レース後半ではこれらのキネティクスの変化により、離地後に回復脚を後方へ流さず、かつ接地に向けて素早く動かすことによって滞空時間を短縮させ、ピッチ型の動きへと変化したと考えられる。

6.4.3 前半型および後半型のレースパターンにおける走動作の特徴

前半型のレースパターンの典型例である POS は、150m 地点において走速度が非常に大きかったが、レース後半の減速が大きく、750m 地点の走速度は非常に小さかった（図 6-4）。150m 地点では大きな滞空期距離によってステップ長が大きく、また短い支持期時間によってステップ時間が短かった。しかし、750m 地点では支持期および滞空期距離が減少してステップ長が減少し、支持期および滞空期の時間が増大してステップ時間が増大した。この時、支持期後半の水平方向および鉛直方向の平均力が減少しており、地面に対して大きな力を作用させることができなくなっていたと考えられる。下肢のキネマティクスに着目すると、150m 地点では支持期後半からフォロースルー終了にかけての大腿の後方へのスウィング速度や支持期前半の下腿の前傾速度、離地後の下腿の後上

方への蹴り上がり速度、回復期後半の下腿の前方への振り出し速度が大きかったが、750m 地点においてこれらは減少した (図 6-9)。すなわち、150m 地点では大腿の後方スウィングや下腿の前後へのスウィングが速かったが、750m 地点では遅くなった。また、回復脚のキネティクスに着目すると、150m 地点では回復期前半の股関節の屈曲トルク、正トルクパワー (図 6-14) および正仕事 (図 6-16)、膝関節の負仕事が大きく (図 6-17)、また回復期後半の股関節の伸展トルクおよび正トルクパワー (図 6-14)、膝関節屈曲トルクによる負トルクパワー (図 6-15) および負仕事が大きかったが (図 6-17)、750m 地点においてこれらは減少した。先に述べたように、800m レース中の回復脚のキネティクスのパラメータの平均的な変化傾向は、150m 地点から 350m 地点にかけて走速度の減少とともに減少し、レース後半において再び漸増するというものであった。そして、これらはレース後半において回復脚の素早い動きへと繋がり、滞空時間の短縮によるピッチ型の動きへの変化を可能にすると考えられた。POS の場合、150m 地点において非常に大きな走速度で走っていたため、それにもなつて回復脚のトルクやトルクパワー、仕事が大きかった。しかし、その影響によって大きく疲労し、レース後半において回復脚の股関節および膝関節トルクやトルクパワー、仕事を再び増大させることができず、回復脚の動きが遅くなったと考えられる。

後半型の典型例である NEG は、150m 地点における走速度は POS より小さく、反対に 750m 地点において大きく、レース全体を通して走速度をほぼ一定に維持していた (図 6-4)。750m 地点にかけてステップ長は POS ほどではないが減少し、ステップ時間は POS とは反対に減少していた。滞空期および支持期の距離および時間はほぼ一定か僅かに減少していた。この時、支持期の鉛直方向の平均力が維持されており、地面に対する力の発揮が維持あるいは増大しており、滞空期距離およびステップ長の維持に繋がったと考えられる。下肢のキネマティクスに着目すると、回復脚大腿の前

方への引き上げ速度および接地に向けた振り戻し速度が増大し、離地後の下腿の後上方への蹴り上がり速度および回復期後半の下腿の前方への振り出し速度が増大した（図 6-9）。回復脚のキネティクスに着目すると、股関節トルク（図 6-14）および仕事（図 6-16）がレース中ほぼ維持されており、局面 8（FS-FC）において正トルクパワーが 150m 地点から 750m 地点にかけて増大する傾向を示した（図 6-14）。また、局面 7（CTO-FS）において膝関節の負トルクパワー（図 6-15）および負仕事（図 6-17）が 150m 地点から 750m 地点にかけて増大した。このように、NEG は回復脚の股関節および膝関節トルクやトルクパワー、仕事がレース中維持あるいは漸増しており、これらによってレース後半における回復脚の動きが速くなったと考えられる。

6.5 要約

本研究の目的は、800m レース中の走動作を分析し、第 5 章で明らかとなったレースパターンと走動作との関係について検討することにより、800m 走の平均的な走動作の特徴について明らかにすることであった。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) レース前半の走動作の特徴

- ① 150m 地点では走速度が大きく、このときステップ長、滞空期距離および身体重心の上下動、離地時の身体重心の鉛直速度、支持期の鉛直方向の平均力が大きかった。
- ② 回復脚下腿が前方へ大きく振り出された後、接地に向けて素早く振り戻されていた。支持期前半の下腿前傾角速度、支持期後半の股関節伸展角速度および大腿角速度が大きく、離地後に回復脚大腿が後方へ大きく流れた後、素早く前方へ引き出されていた。
- ③ 350m 地点では 150m 地点より走速度が減少してステップ長、滞空期距離および身体重心の上下動、離地時の身体重心の鉛直速度、支持期の鉛直方向の平均力が小さくなった。
- ④ 回復脚下腿の前方への振り出しが小さくなり、接地に向けた振り戻しが弱まった。離地後の大腿の後方への流れが小さくなった。

以上のことから、150m 地点では支持期に大きな力を発揮して大きな滞空期距離を獲得し、下腿を前方へ振り出した後に接地に向けて素早く振り戻し、離地後に大腿を後方へ大きく流した後に素早く前方へ引き出すようにして大きな走速度で走っており、350m 地点では 200m 付近で形成された集団の走スピードが漸減していくため、上述の動きより小さくかつ遅い動きで走っていたことが明らかとなった。

(2) レース後半の走動作の特徴

350m 地点と比べて,

- ① 走速度は変わらなかったが, ステップ長およびステップ時間が漸減した.
- ② 滞空期距離および身体重心の上下動, 離地時の身体重心の鉛直速度, 支持期の鉛直方向の平均力が漸減した.
- ③ 回復脚の大腿が高く上がり下腿の前方への振り出しが小さくなり, その後接地に向けて大腿が素早く振り下ろされていた. しかし, 下腿の振り戻しは弱まり, 接地直前から支持期前半にかけての下腿前傾角速度が減少した.
- ④ 離地後の回復脚股関節の屈曲および大腿の前方への引き出しの開始が早まり, 脚が後方へ流れなくなった. また, その大腿の引き出し速度も大きく, 下腿の後上方への蹴り上がり動作が小さくなった.

以上のことから, レース後半では支持脚の疲労により支持期に大きな力を発揮することができなくなり, 支持期の平均力および滞空期距離が減少し, それに対して回復脚を素早く動かすことで滞空期時間を短縮し, ステップ頻度を高めることで走速度の維持に努めていたことが明らかとなった.

(3) 前半型および後半型のレースパターンにおける走動作の特徴

前半型は,

- ① 150m 地点における走速度が非常に大きく, 大きな滞空期距離によってステップ長が大きく, 短い支持期時間によってステップ時間が短かった.

- ② 支持期後半からフォロースルー終了時にかけての大腿の後方スウィングや、回復脚下腿の前後へのスウィングが速く、回復脚のトルクやトルクパワー、仕事が大きかった。
- ③ 750m 地点では走速度が大きく減少し、支持期および滞空期距離が減少してステップ長が減少し、支持期および滞空期の時間が増大してステップ時間が増大した。
- ④ 支持期後半の水平方向および鉛直方向の平均力が減少した。
- ⑤ レース後半において回復脚の股関節および膝関節トルクやトルクパワー、仕事を再び増大させることができず、回復脚の動きが遅くなった。

後半型は、

- ① レース全体を通して走速度をほぼ一定に維持していた
- ② 750m 地点にかけてステップ長は前半型ほどではないが減少し、ステップ時間は前半型とは反対に減少した。
- ③ 支持期の鉛直方向の平均力がレース全体を通して維持されていた。
- ④ 回復脚の股関節および膝関節トルクやトルクパワー、仕事がレース中維持あるいは漸増しており、レース後半における回復脚の動きが速くなった。

7. 疲労の影響による走動作の変化と疲労状態で走速度を維持するための技術

7.1 目的

競走種目のレース後半においては疲労が生じ、走動作も変化する。そして、選手はその疲労に抗するようにスピードやパワーの維持に努めている。したがって、疲労の影響による走動作の変化を明らかにし、疲労状態において走速度を維持するための技術について検討することは重要であろう。第6章のレース中の走動作の分析結果から、レース後半では支持脚が疲労すること、疲労状態において走速度を維持するために、回復脚を素早く動かすことで滞空期時間を短縮し、ステップ頻度を高めていることがわかった。しかし、レース中は地面反力を計測できないので、地面反力や支持脚のキネティクスについては明らかにすることができず、支持脚の疲労の影響について明らかにすることができなかった。したがって、実験的に地面反力を計測し、地面反力や支持脚のキネティクスへの影響について検討する必要がある。また、走速度の減少に伴う走動作についても検討する必要がある。先行研究の多くは、レースの前半と後半の走動作の比較により疲労の影響を明らかにしようとしたものばかりであり (Bates and Osternig, 1977 ; Mero et al., 1988 ; Chapman, 1982 ; Sprague and Mann, 1983 ; 淵本ら, 1988 ; 伊藤ら, 1997b ; 尾縣ら, 2003), 疲労と走速度の変化の影響が混在する問題が解決されておらず (Wood, 1987 ; Hayes and Caplan, 2012), 疲労の影響による走動作の変化や疲労状態において走速度を維持するための技術については十分に検討されていない。その中で、Williams et al. (1991) は、長距離走の疲労にともなう走動作の変化について明らかにするために、疲労のない状態で同じ走速度で疾走した時の走動作とレース終盤の走動作とを比較することにより、走速度の影響を取り除く工夫をしている。本研究においては、疲労による走速度減少後の

走動作と疲労のない状態で同じ走速度で疾走した時の走動作とを比較し、疲労の影響による走動作の変化を明らかにすることを試みた。

本研究の目的は、600m 走中における走動作および地面反力を計測し、走速度減少前後の走動作の比較および疲労のない状態での走動作との比較を行なうことにより、疲労の影響による走動作の変化を明らかにし、疲労状態において走速度を維持するための技術を明らかにすることである。

7.2 方法

男子 800m 選手 6 名に、第 5 章で示した「前半型」のモデルレースパターンによる 800m レースペースでの 600m 走、疲労のない状態で 600m 走の 550m 地点と同速度でのランニング（以下、NF 走）および全カスプリント（以下、Max 走）を行なわせ、走動作の VTR 撮影と地面反力の計測を行なった。被験者、実験試技、データ収集法、処理法および算出項目は、第 4 章で述べた。

7.2.1 統計処理

600m 走の 150m 地点と 550m 地点、550m 地点と NF 走における分析項目間の差を調べるために、対応のある t 検定を行なった。有意水準は 5% とした。

7.3 結果

7.3.1 パフォーマンスおよび走スピードの変化

被験者の 600m 走タイムの平均および標準偏差は、1 分 21 秒 13 ± 1 秒 89 であった。200m 地点の通過タイムは 25 秒 13 ± 1 秒 17, 400m 地点の通過タイムは 51 秒 61 ± 2 秒 03 で、予め設定した通過タイムとの差は 200m 地点において 0.8 ± 1.0 秒, 400m 地点において 1.3 ± 1.7 秒であり、実際の通過タイムの方が僅かに速かった。図 7-1 は、全被験者の平均および各被験者の 600m 走中の走スピードの変化を示したものである。走スピードは、全体的には 50~100m 区間において最大に達し、その後フィニッシュにかけて漸減する傾向を示した。図 7-2 は、全被験者の平均および 2 名の被験者 (D, F) の相対走スピードの変化を示したものである。被験者 D では、後半において大きく減速した典型例、被験者 F では 600m 走全体を通して走速度を維持していた典型例である。

7.3.2 走速度, ステップ長, ステップ時間

図 7-3 は、600m 走の各地点, NF 走および Max 走における走速度, ステップ長, ステップ時間およびその構成要素を平均と標準偏差で示したものである。なお, Max 走は参考として示した。走速度は 150m 地点から 550m 地点にかけて漸減し, 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.01$)。この時, ステップ長, 支持期距離, および滞空期距離が同様に漸減し, 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった (ステップ長, $p<0.01$; 滞空期距離, $p<0.05$; 支持期距離, $p<0.05$)。また, 550m 地点のステップ長および滞空期距離が有意ではないが NF 走より小さかった。支持期距離に対する滞空期距離の比率も同様に漸減し, 550m 地点が NF 走より有意ではないが小さかった。ステップ時間および支持期時間が 150m 地点から 550m 地点にかけて漸増し, 550m 地点が 150m 地点

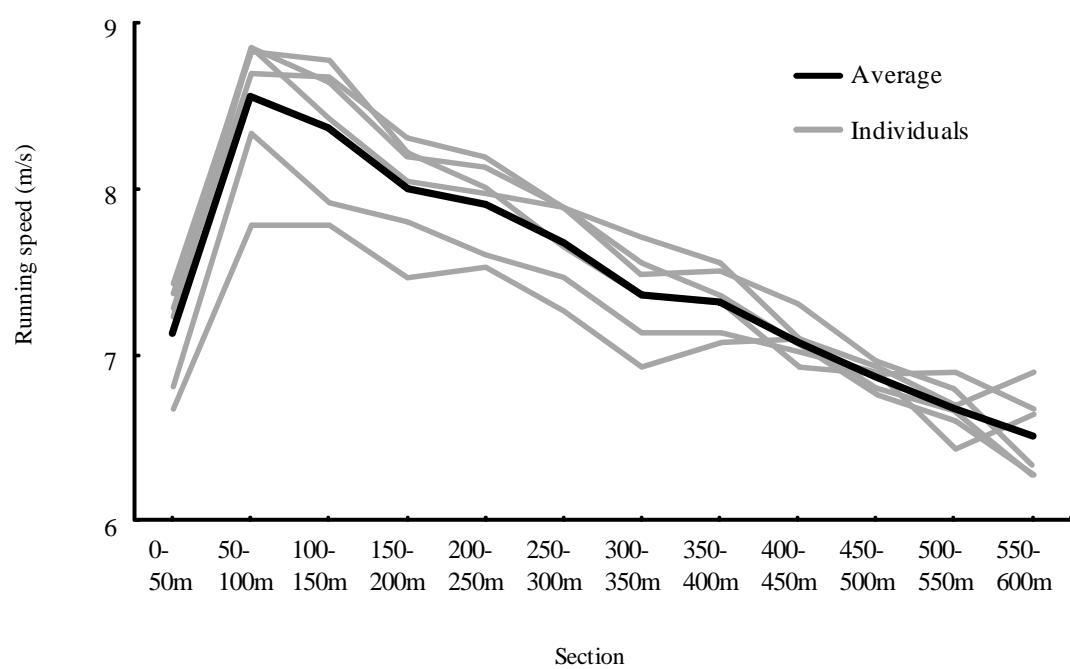


Figure 7-1 Change in running speed in the 600m run.

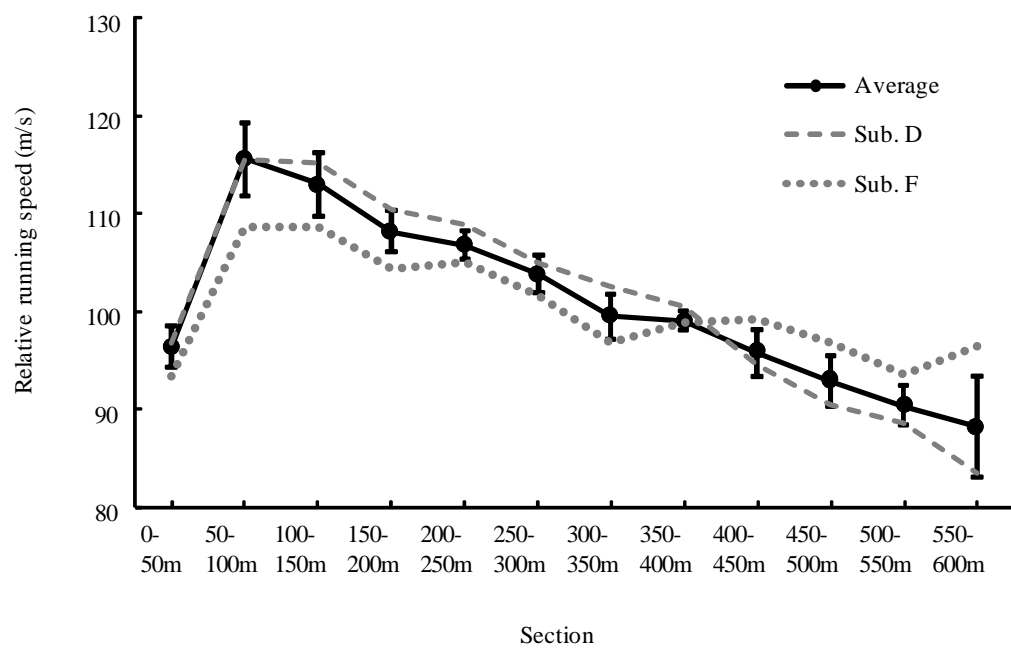


Figure 7-2 Change in relative running speed for average of all subjects, subject D and F in the 600m run.

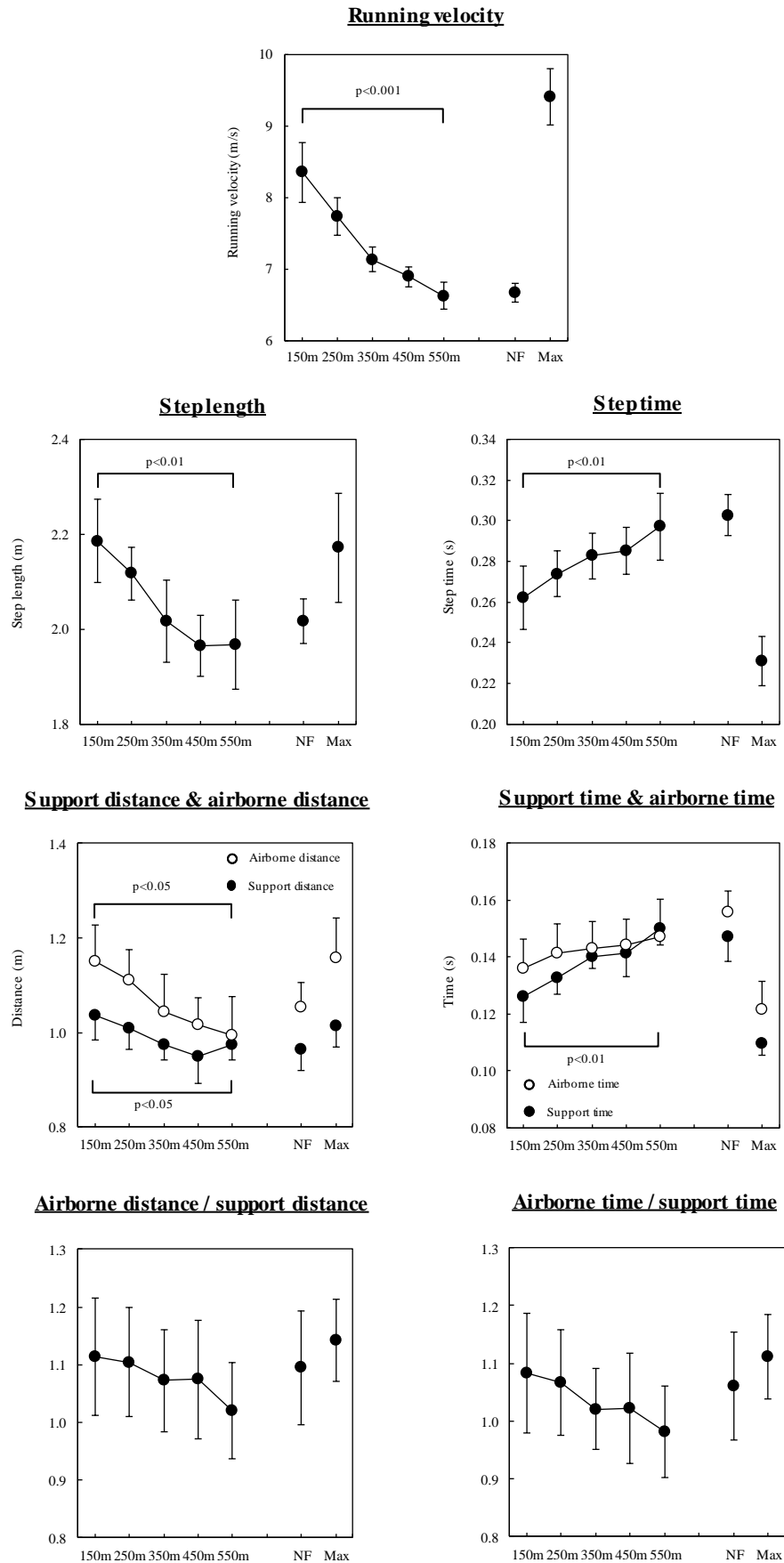


Figure 7-3 Means and standard deviations of running velocity, step length and step time

より有意に長かった ($p<0.01$). 滞空期時間も同様に漸増したが, その変化は小さかった. また, 550m 地点の滞空期時間は有意ではないが NF 走より短かった. 支持期時間に対する滞空期時間の比率は, 150m 地点から 550m 地点にかけて漸減し, 有意ではないが 550m 地点が NF 走より小さかった.

図 7-4 は, 被験者 D および F の 600m 走の各地点, NF 走および Max 走における走速度, ステップ長, ステップ時間およびその構成要素を示したものである. 走速度は, 被験者 D では 150m 地点において大きくその後 550m 地点にかけて大きく減少した. 被験者 F では 150m~350m において被験者 D より小さく, 350m 地点以降は維持されていた. ステップ長は, 被験者 D では 150m 地点において大きくその後大きく減少し, 被験者 F では D より減少が小さかった. ステップ時間は, 被験者 D では 150m 地点において短くその後大きく増大し, 被験者 F では 150m 地点から 350m 地点にかけて増大し, 550m 地点にかけて減少する傾向を示した. 滞空期時間は, 被験者 D では 150m 地点において支持期時間と同じ長さであり (比率 1.00), 被験者 F では 250m 地点以降漸減する傾向を示した. 支持期時間は, 被験者 D では 550m 地点において 0.157 s と長く, 滞空期時間との比率は 0.91 と小さかった.

7.3.3 身体重心のキネマティクス

表 7-1 は, 600m 走の各地点, NF 走および Max 走における身体重心の動きに関するキネマティクスのパラメータを平均と標準偏差で示したものである. 550m 地点における接地時および離地時の身体重心水平速度が 150m 地点より有意に小さく ($p<0.001$), H1 ($p<0.05$), H2 ($p<0.05$), H4 ($p<0.05$), 接地角度 ($p<0.01$) および離地角度が 150m 地点より有意に大きかった. 550m 地点における H3, 接地時および離地時の身体重心鉛直速度が NF 走より有意に小さかった ($p<0.05$).

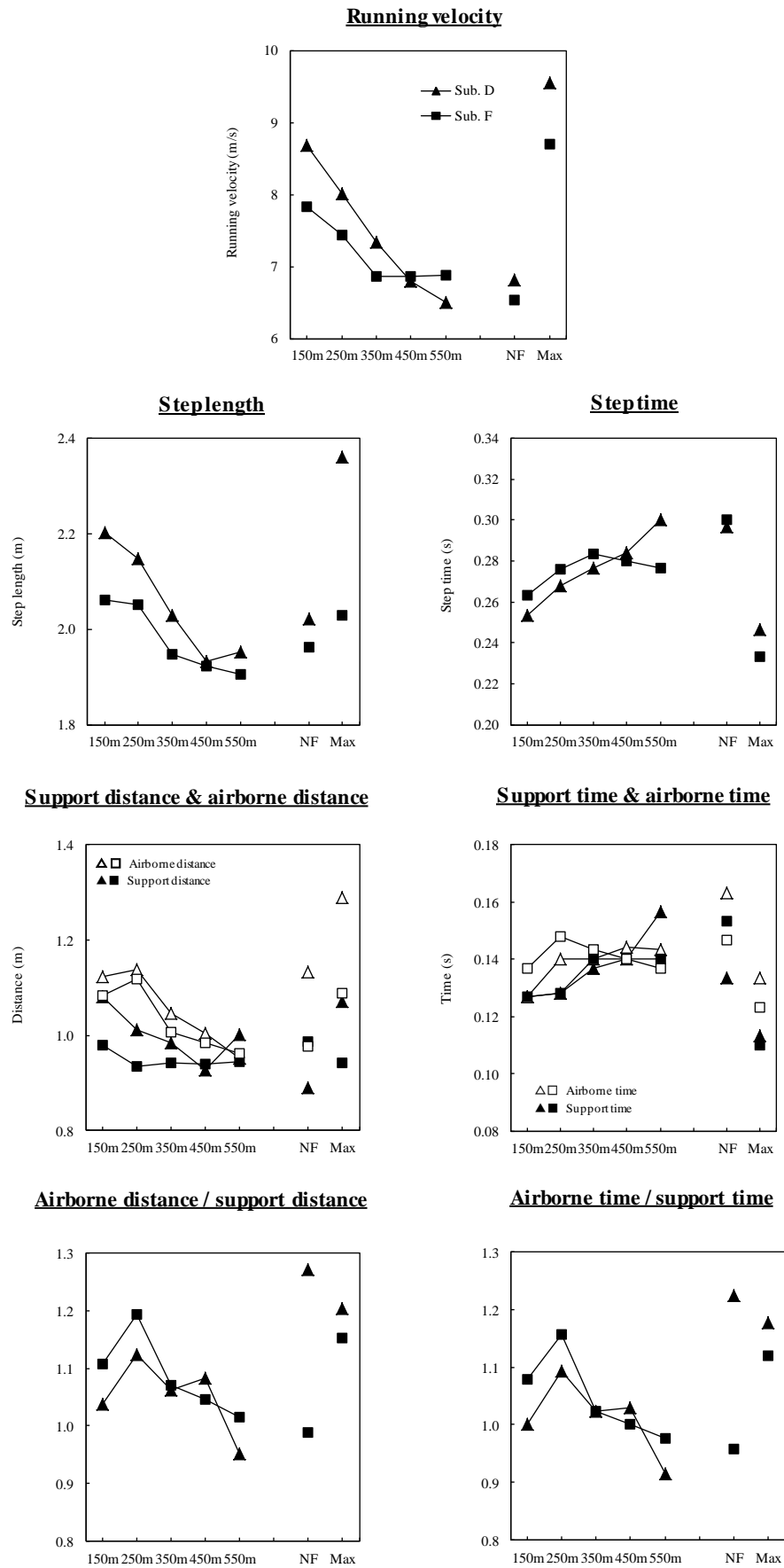


Figure 7-4 Running velocity, step length and step time for subjects D (▲) and F (■).

Table 7-1 Parameters related to motion for the center of gravity.

Variables		Mark					Non-Fatigued	Max	Difference
		150m	250m	350m	450m	550m			
H1	(cm)	1.52 (0.35)	2.03 (0.37)	2.22 (0.27)	2.28 (0.40)	2.19 (0.22)	2.61 (0.39)	1.11 (0.26)	150m<550m
H2	(cm)	4.22 (0.70)	4.45 (0.60)	5.17 (0.40)	5.29 (0.74)	5.32 (0.82)	5.82 (0.46)	3.72 (0.56)	150m<550m
H3	(cm)	1.28 (0.31)	1.49 (0.35)	1.76 (0.19)	1.83 (0.37)	1.41 (0.26)	1.78 (0.30)	0.93 (0.25)	550m<NF
H4	(cm)	3.84 (0.59)	4.86 (0.76)	4.09 (0.69)	4.63 (0.94)	4.79 (1.07)	5.12 (0.66)	3.83 (0.54)	150m<550m
Horizontal velocity of CG at the foot contact	(m/s)	8.36 (0.38)	7.74 (0.28)	7.16 (0.15)	6.92 (0.15)	6.62 (0.20)	6.76 (0.12)	9.40 (0.42)	150m>>>550m
Vertical velocity of CG at the foot contact	(m/s)	-0.62 (0.09)	-0.72 (0.08)	-0.69 (0.07)	-0.71 (0.06)	-0.69 (0.07)	-0.79 (0.08)	-0.54 (0.07)	550m>NF
Landing angle	(deg)	4.25 (0.76)	5.31 (0.58)	5.53 (0.57)	5.90 (0.56)	5.96 (0.66)	6.64 (0.68)	3.27 (0.49)	150m<<550m
Horizontal velocity of CG at the takeoff	(m/s)	8.47 (0.42)	7.81 (0.26)	7.18 (0.18)	6.94 (0.17)	6.74 (0.17)	6.73 (0.13)	9.46 (0.40)	150m>>>550m
Vertical velocity of CG at the takeoff	(m/s)	0.53 (0.07)	0.59 (0.08)	0.66 (0.04)	0.67 (0.08)	0.56 (0.06)	0.64 (0.03)	0.52 (0.08)	550m<NF
Takeoff angle	(deg)	3.59 (0.37)	4.32 (0.65)	5.21 (0.30)	5.55 (0.68)	4.77 (0.62)	5.47 (0.34)	3.15 (0.53)	150m<550m
DEC	(m/s)	0.22 (0.11)	0.32 (0.09)	0.32 (0.08)	0.39 (0.05)	0.29 (0.14)	0.44 (0.10)	0.29 (0.10)	
ACC	(m/s)	0.40 (0.10)	0.40 (0.08)	0.32 (0.16)	0.35 (0.12)	0.40 (0.07)	0.37 (0.12)	0.36 (0.13)	

Numerals in parentheses are standard deviations.

> indicate significant difference between 150m and 550m mark, 550m mark and Non-Fatigued. (> p<0.05, >> p<0.01, >>> p<0.001)

7.3.4 体幹および下肢のキネマティクス

図 7-5 は、600m 走の各地点、NF 走および Max 走における 1 サイクルの平均体幹角度、図 7-6 は、1 サイクルの各時点における大腿角度（上段）、下腿角度（中段）、足角度（下段）を平均および標準偏差で示したものである。体幹角度に有意な変化はみられなかった。大腿角度は、離地時（TO）において 550m 地点が NF 走より有意に負の値が大きく（ $p<0.05$ ）、大腿がより後方に流れていた。また、逆足離地時（CTO）およびフォワードスウィング終了時（FS）において 150m 地点から 550m 地点にかけて漸減する傾向を示し、大腿の前上方への引き上げが小さくなっていったが、フォワードスウィング終了時（FS）において 550m 地点が NF 走より有意に大きく（ $p<0.05$ ）、NF 走比べて大腿が前上方へ上がっていた。下腿角度は、離地時（TO）（ $p<0.01$ ）、フォロースルー終了時（FT）（ $p<0.05$ ）および逆足接地時（CFC）（ $p<0.05$ ）において 550m 地点が 150m 地点より有意に負の値が小さく、離地時の下腿の前傾や離地後の下腿の後上方への蹴り上がりが小さくなっていた。また、フォワードスウィング終了時（FS）において 550m 地点が 150m 地点および NF 走より有意に小さく（ $p<0.05$ ）、下腿の前方への振り出しが小さくなっていた。足角度は、接地時（FC）において 550m 地点が 150m 地点および NF 走より有意に小さく（ $p<0.05$ ）、支持期中間（MS）において 500m 地点が NF 走より有意に小さかった（ $p<0.05$ ）。

図 7-7 は、600m 走の各地点、NF 走および Max 走における、1 サイクルの各局面における大腿（上段）、下腿（中段）、足（下段）の平均角速度を平均および標準偏差で示したものである。大腿角速度は、局面 1（FC-MS）（ $p<0.05$ ）、局面 2（MS-TO）（ $p<0.01$ ）、局面 7（CTO-FS）（ $p<0.05$ ）および局面 8（FS-FC）（ $p<0.05$ ）において 550m 地点が 150m 地点より有意に負の値が小さく、大腿の前方から後方へのスウィング速度が減少した。局面 3（TO-FT）において 550m 地点が正の値を示したの

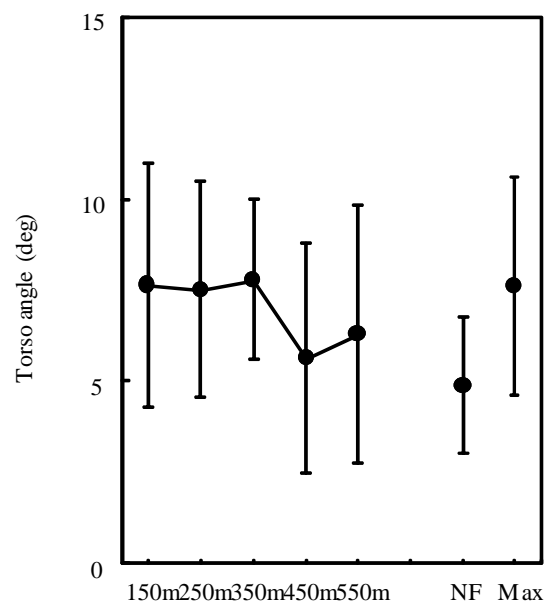


Figure 7-5 Averaged torso angle in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

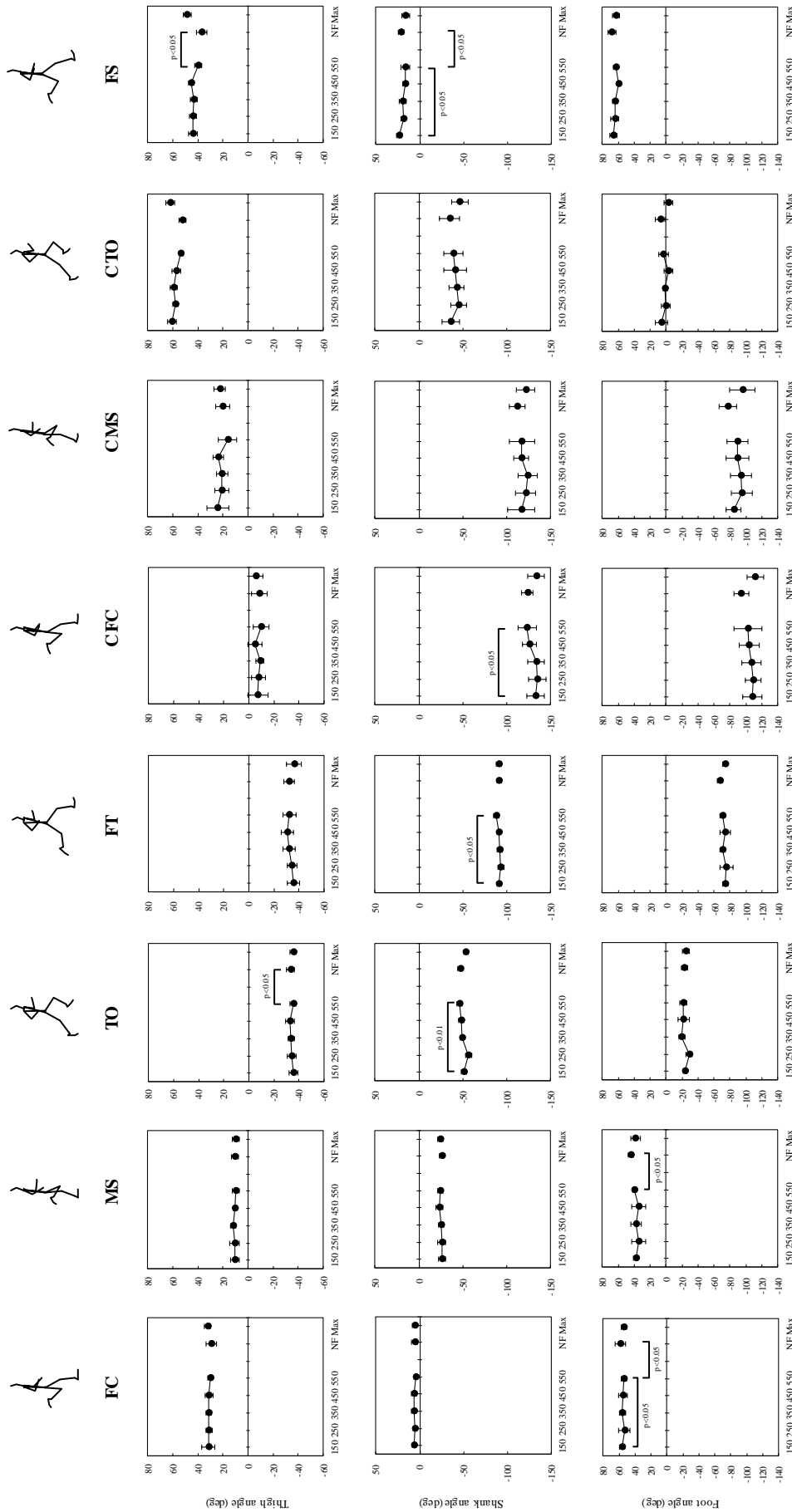


Figure 7-6 Means and standard deviations of thigh (upper), shank (middle) and foot angle (lower) at each event in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

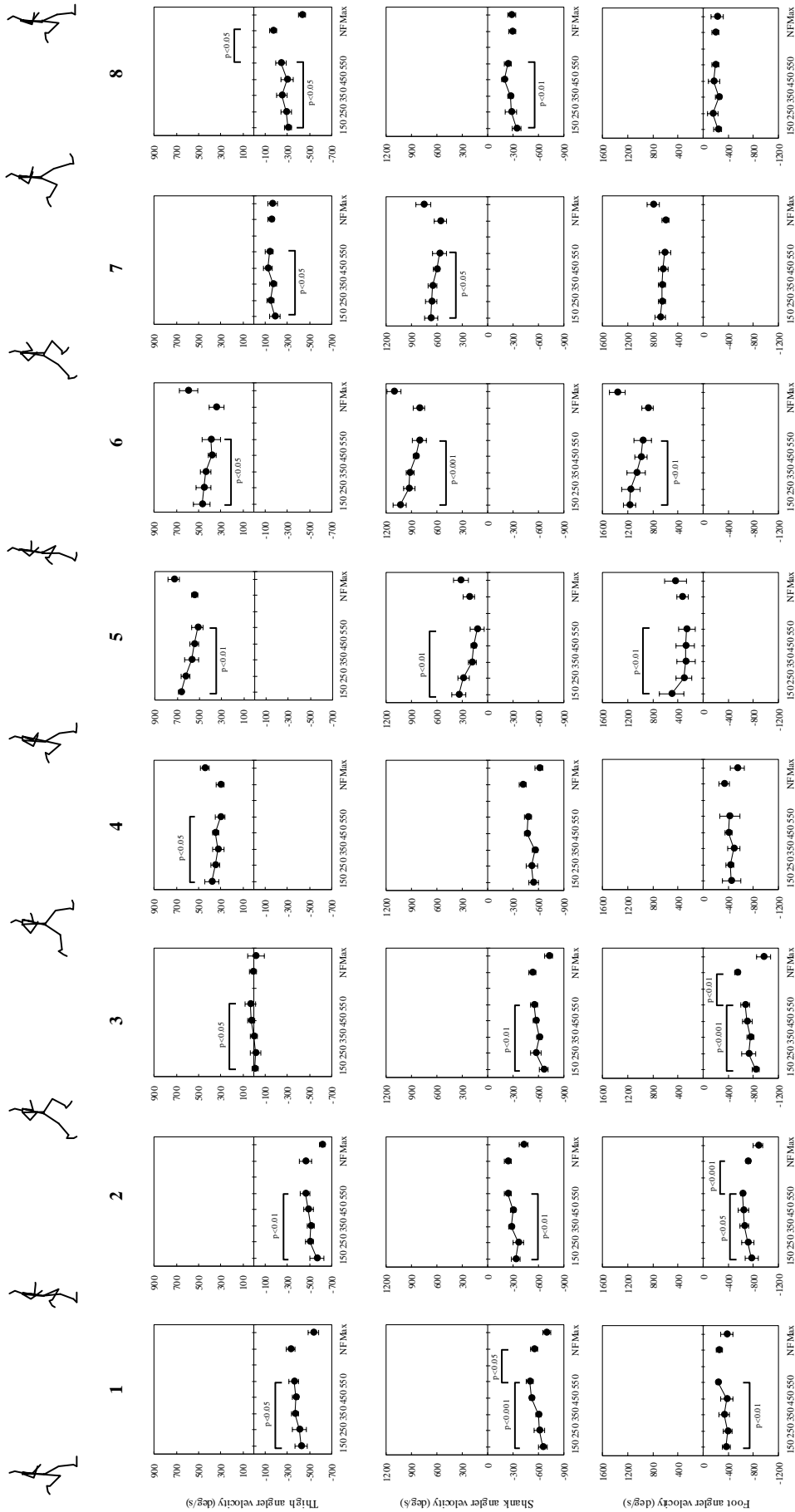


Figure 7-7 Means and standard deviations of averaged thigh (upper), shank (middle) and foot angle velocity (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

に対して 150m 地点が負の値を示し、離地後の大腿の前方へのリカバリー開始が早まっていた。また、局面 8 (FS-FC) において 550m 地点が NF 走より有意に負の値が大きく ($p<0.05$)、接地に向けた大腿の振り下ろしが速くなっていた。下腿角速度は、局面 1 (FC-MS) から局面 3 (TO-FT) および局面 8 (FS-FC) において 550m 地点が 150m 地点より有意に負の値が小さく、局面 5 (CFS-CMS) から局面 7 (CTO-FS) において有意に小さく (局面 5, $p<0.01$; 局面 6, $p<0.001$; 局面 7, $p<0.05$)、1 サイクルを通して下腿角速度が減少していた。また、局面 1 (FC-MS) において 550m 地点が NF 走より有意に負の値が小さく ($p<0.05$)、支持期前半の下腿の前傾速度が小さくなっていた。足角速度は、局面 1 (FC-MS) ($p<0.01$) および局面 2 (MS-TO) ($p<0.05$) において 550m 地点が 150m 地点より有意に負の値小さく、また局面 2 (MS-TO) において 550m 地点が NF 走より有意に負の値が小さく ($p<0.001$)、支持期の足の前傾速度が減少していた。

図 7-8 は、被験者 D および F の 600m 走の各地点、NF 走および Max 走における、1 サイクルの各局面における大腿 (上段)、下腿 (中段) の平均角速度を示したものである。大腿角速度は、150m 地点から 550m 地点にかけて、被験者 D では局面 1 (FC-MS)、局面 2 (MS-TO)、局面 8 (FS-FC) において大きく減少し、被験者 F では D より値は小さいが維持していた。

7.3.5 地面反力

図 7-9 は、600m 走の 150m および 550m 地点と NF 走および Max 走における地面反力の水平成分、図 7-10 は鉛直成分に関する項目を平均と標準偏差で示したものである。水平成分では、支持期前半における第 1 ピーク (HPF1)、第 2 ピーク (HPF2)、平均力 (HAF1) が、550m 地点が 150m 地点より有意に負の値が小さかった ($p<0.05$)。支持期後半における第 3 ピーク (HPF3) および平均力 (HAF2)

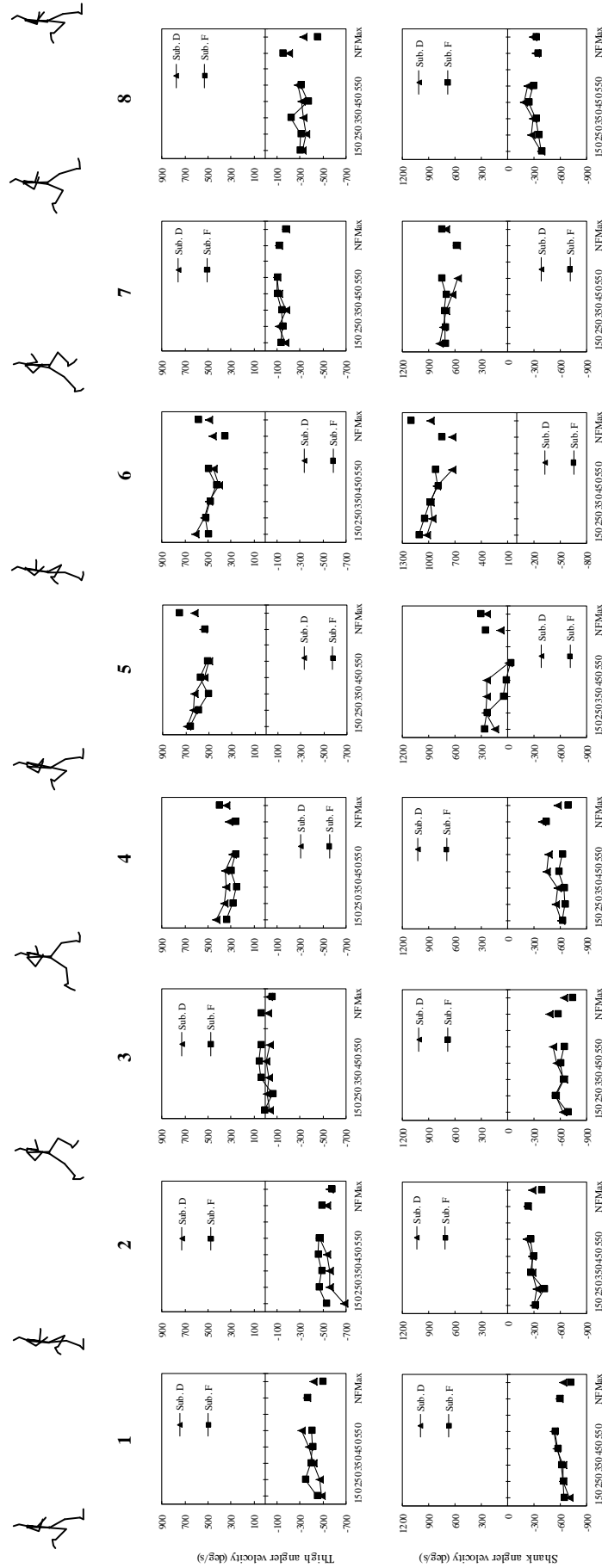
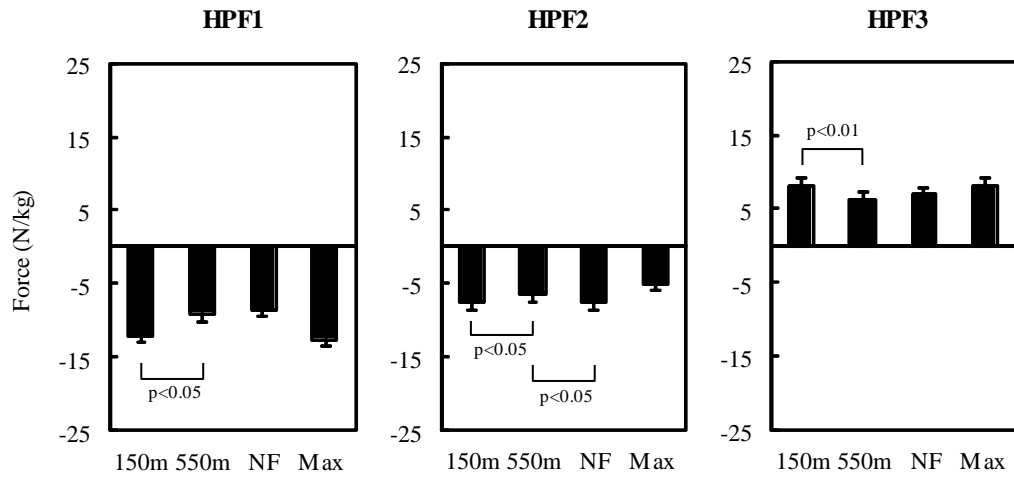
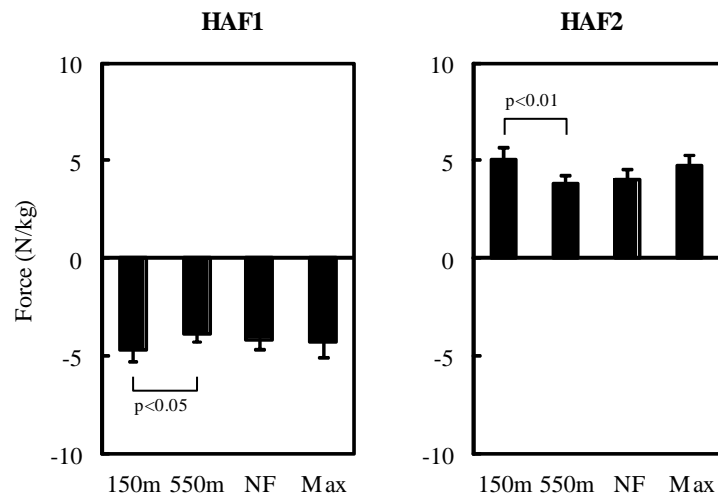


Figure 7-8 Averaged thigh (upper) and shank angular velocity (lower) at each phase in one running cycle for subjects D and F, in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

Peak ground reaction forces



Average forces



Impulse

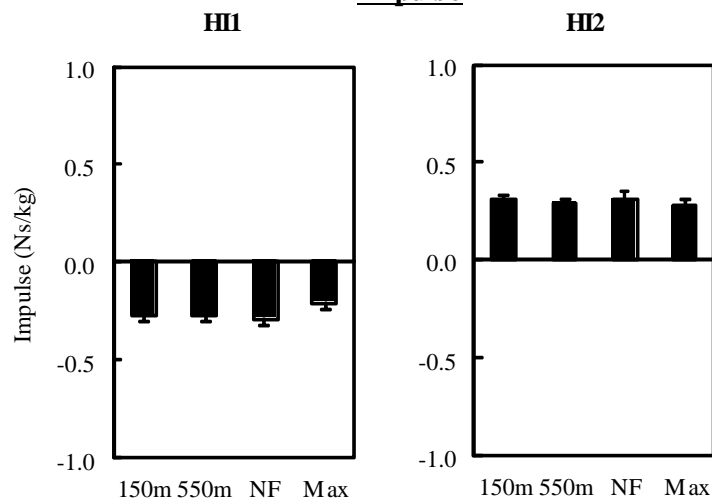
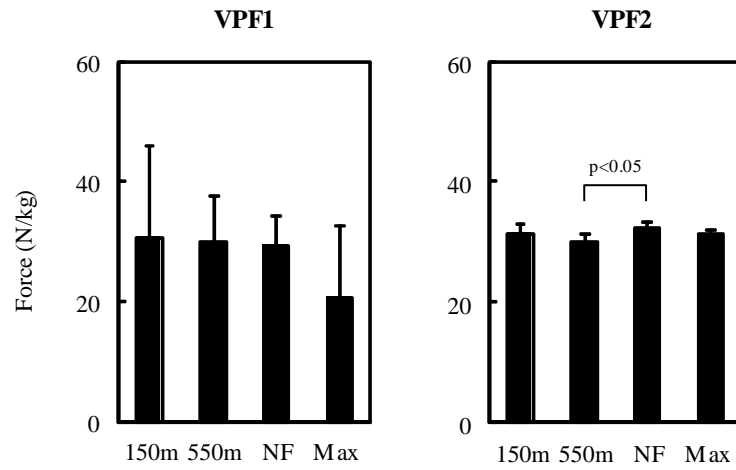
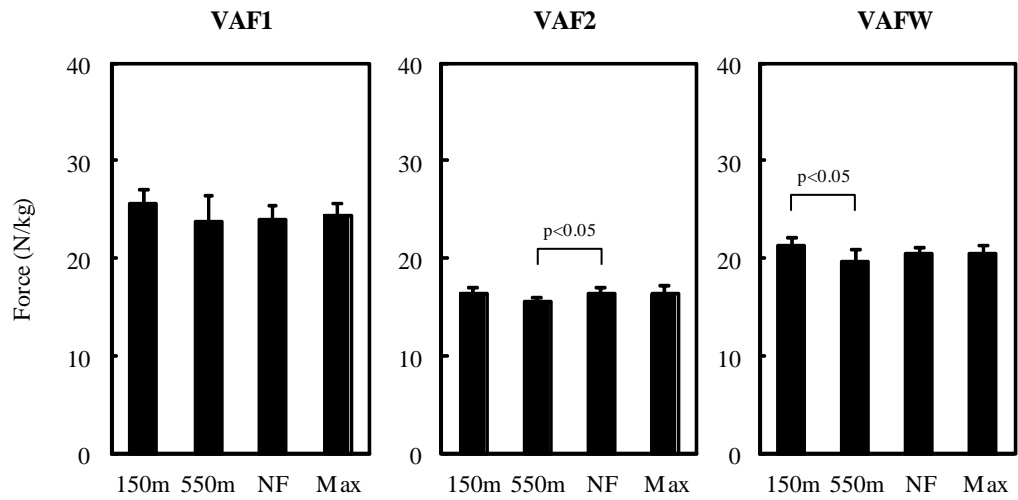


Figure 7-9 Horizontal component of peak ground reaction force (upper), average force (middle) and impulse (lower).

Peak ground reaction forces



Average forces



Impulse

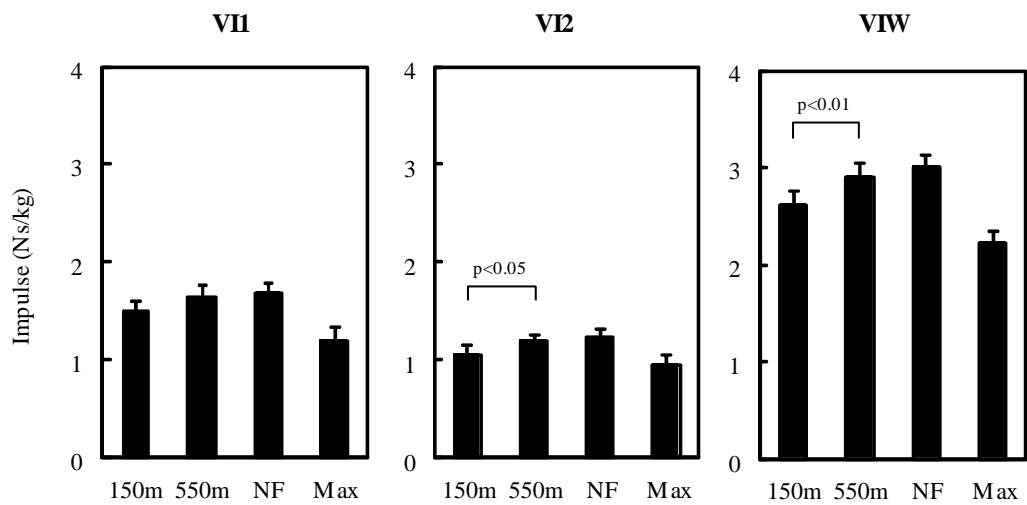


Figure 7-10 Vertical component of peak ground reaction force (upper), average force (middle) and impulse (lower).

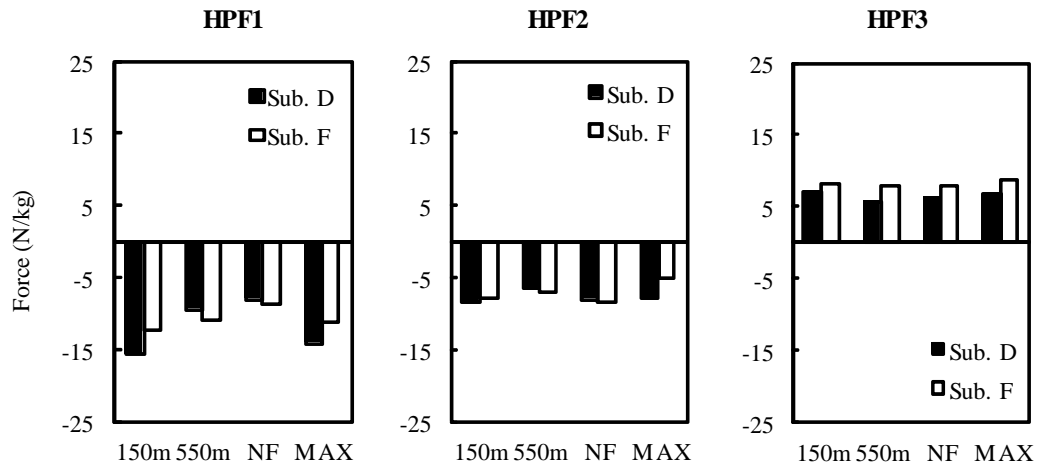
が、550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.01$)。また、支持期前半における第 2 ピーク (HPF2) が、550m 地点が NF 走より有意に負の値が小さかった ($p<0.05$)。鉛直成分では、支持期後半における力積 (VI2) ($p<0.05$) および支持期全体における力積 (VIW) ($p<0.01$) が、550m 地点が 150m 地点より有意に大きく、支持期全体における平均力 (VAFW) が、550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.05$)。また、支持期中間におけるピーク (VPF2) および支持期後半における平均力 (VAF2) が、550m 地点が NF 走より有意に小さかった ($p<0.05$)。

図 7-11 は、被験者 D および F の 600m 走の 150m および 550m 地点と NF 走および Max 走における地面反力の水平成分、図 7-12 は鉛直成分に関する項目を示したものである。水平成分では、被験者 D ではすべてのピーク値 (HPF1, HPF2, HPF3) および平均力 (HAF1, HAF2) が 150m 地点から 550m 地点にかけて減少し、被験者 F では比較的維持されていた。鉛直成分でも、被験者 D ではすべてのピーク値 (VPF1, VPF2) および平均力 (VAF1, VAF2, VAFW) が 150m 地点から 550m 地点にかけて減少し、被験者 F では比較的維持されていた。

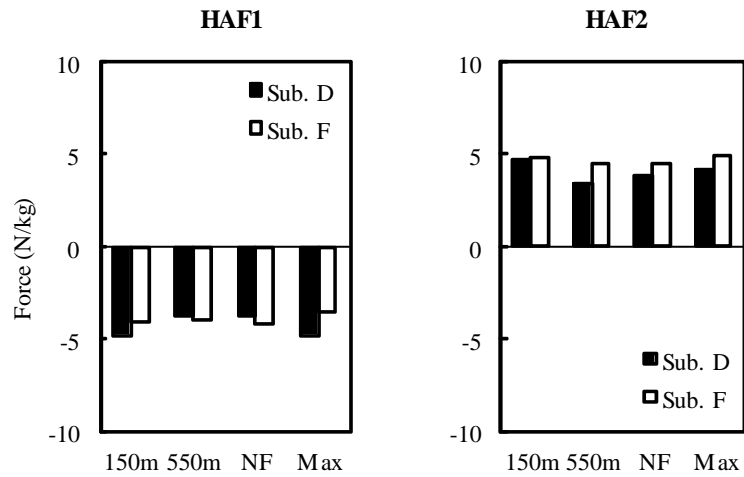
7.3.6 下肢のキネティクス

図 7-13 は、600m 走の各地点、NF 走および Max 走における、1 サイクルの各局面における股関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段)、図 7-14 は、膝関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段)、図 7-15 は、足関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段) を平均および標準偏差で示したものである。図 7-16 は、支持脚の股関節ピークトルクおよびピークトルクパワー、図 7-17 は、支持脚の膝関節ピークトルクおよびピークトルクパワー、図 7-18 は、支持脚の足関節ピークトルクおよびピークトルクパワーを平均および標準偏差で示したも

Peak ground reaction forces



Average forces



Impulse

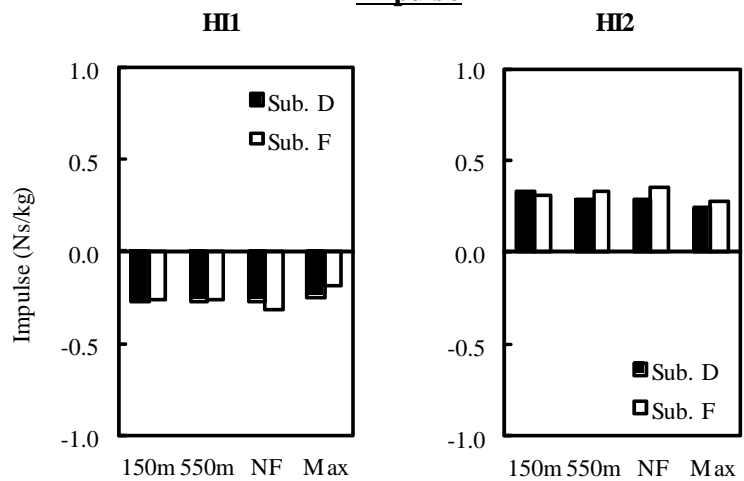
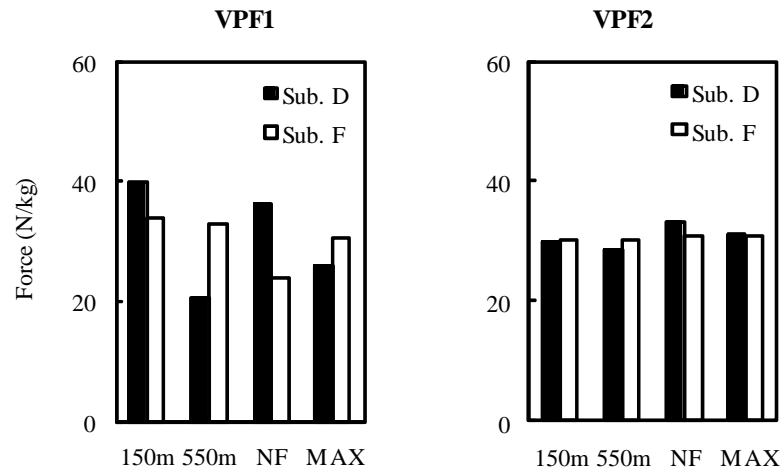
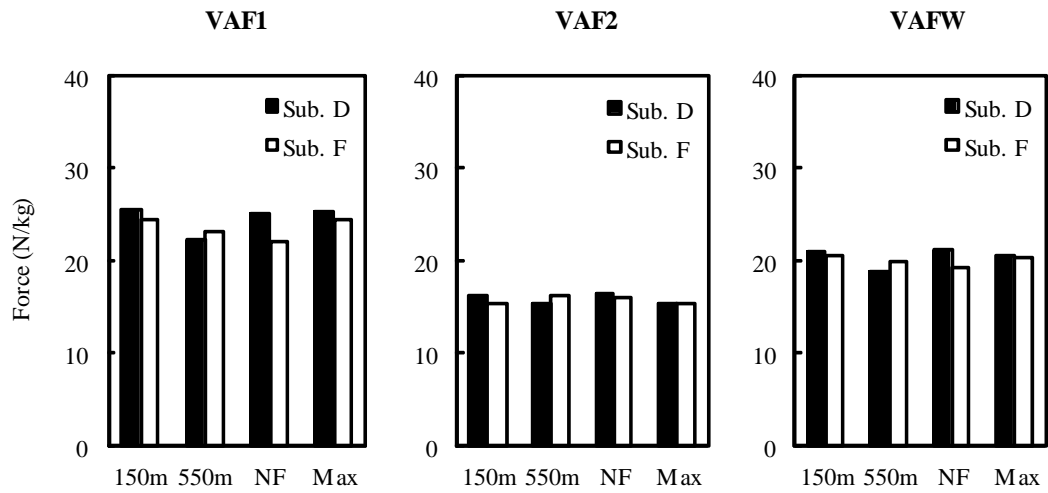


Figure 7-11 Horizontal component of peak ground reaction force (upper), average force (middle) and impulse (lower) for subjects D and F.

Peak ground reaction forces



Average forces



Impulse

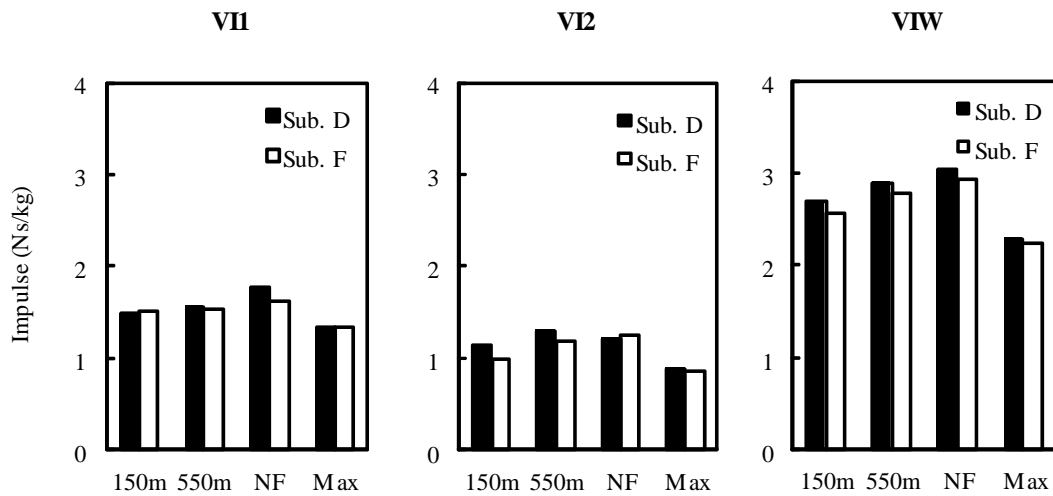


Figure 7-12 Vertical component of peak ground reaction force (upper), average force (middle) and impulse (lower) for subjects D and F.

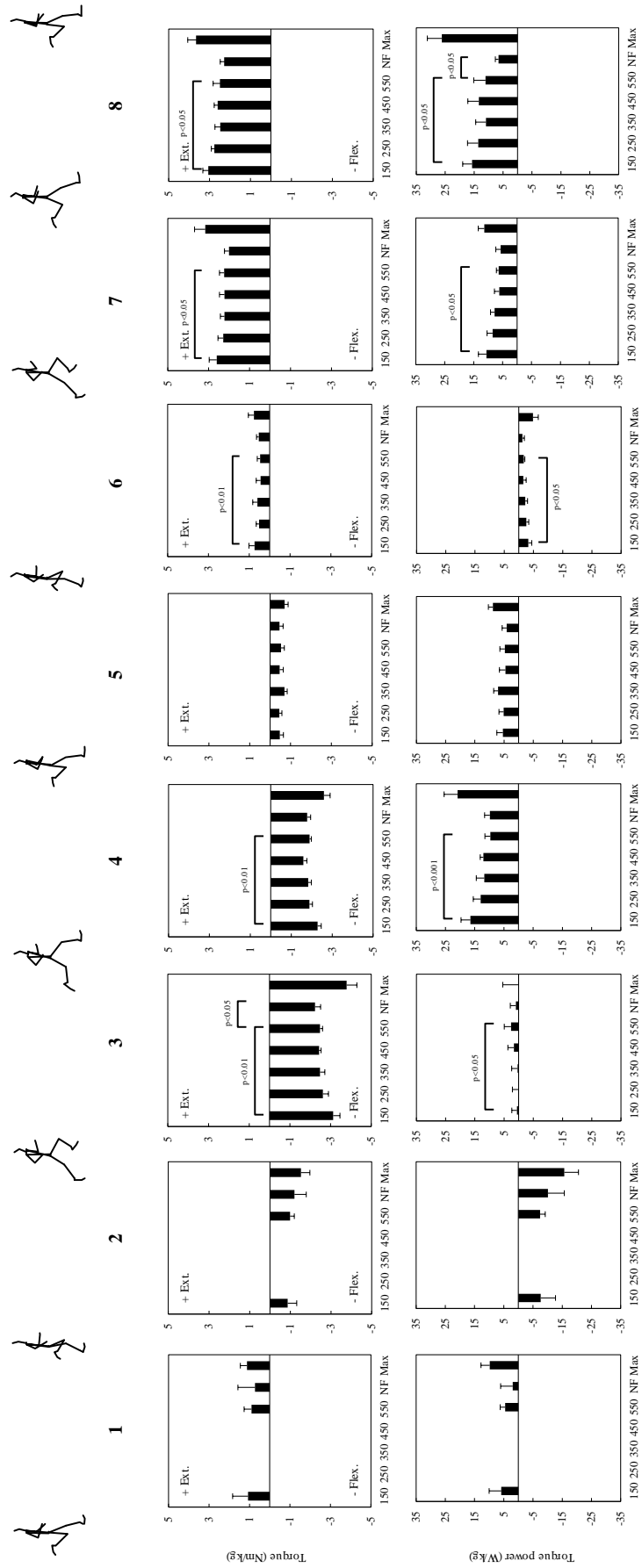


Figure 7-13 Means and standard deviations of averaged hip joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

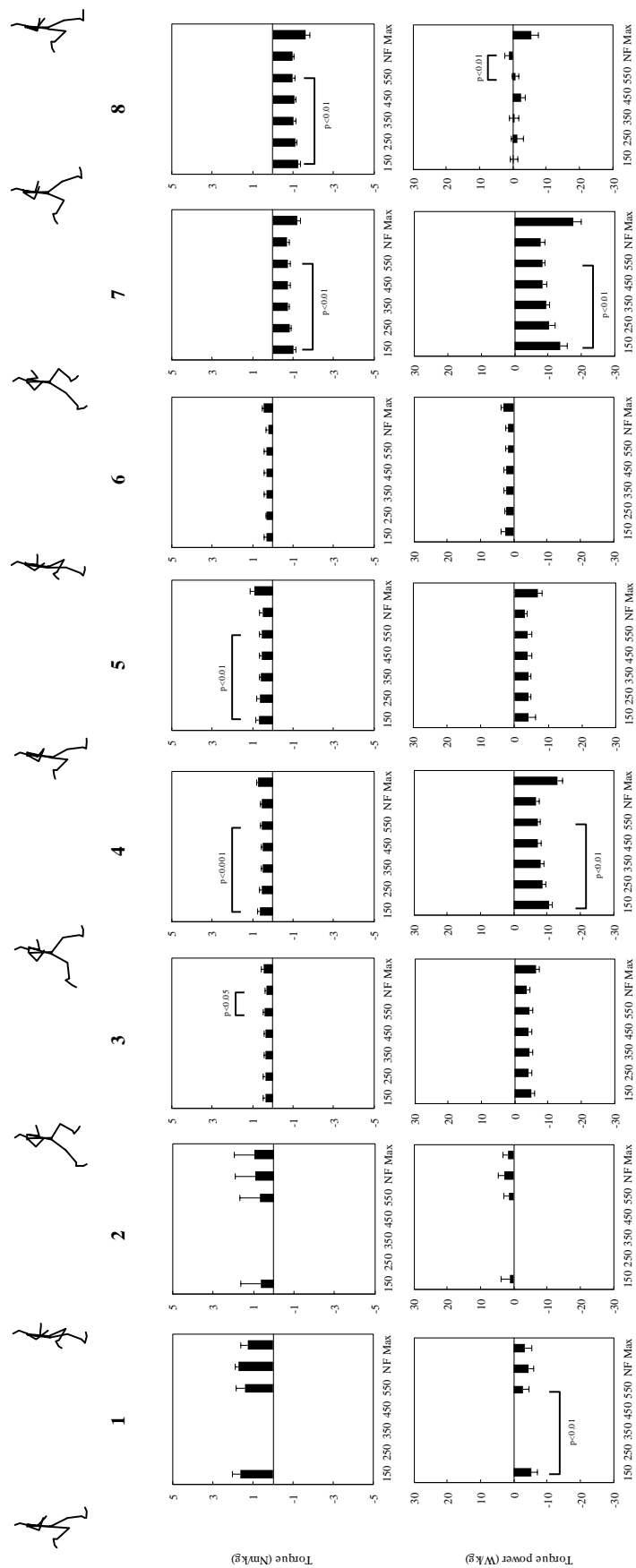


Figure 7-14 Means and standard deviations of averaged knee joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

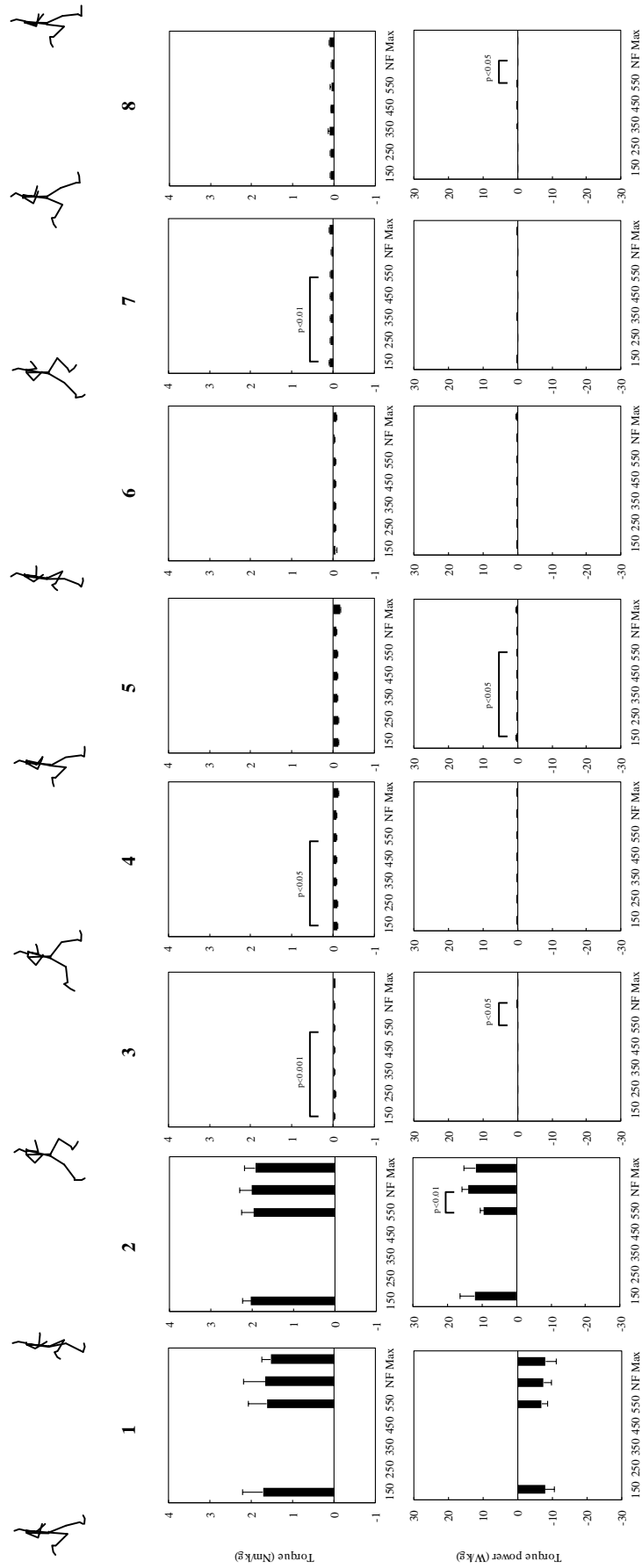


Figure 7-15 Means and standard deviations of averaged ankle joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

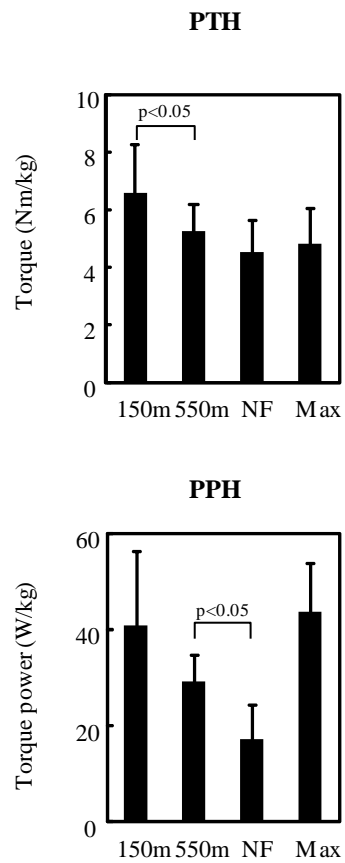


Figure 7-16 Peak hip joint torque (upper) and torque power (lower) of the support leg at each mark in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

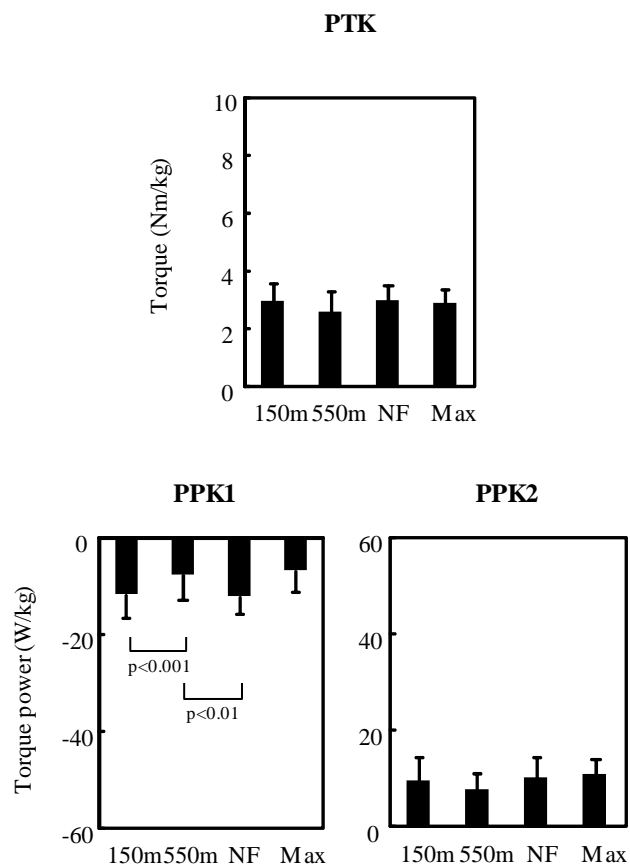


Figure 7-17 Peak knee joint torque (upper) and torque power (lower) of the support leg at each mark in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

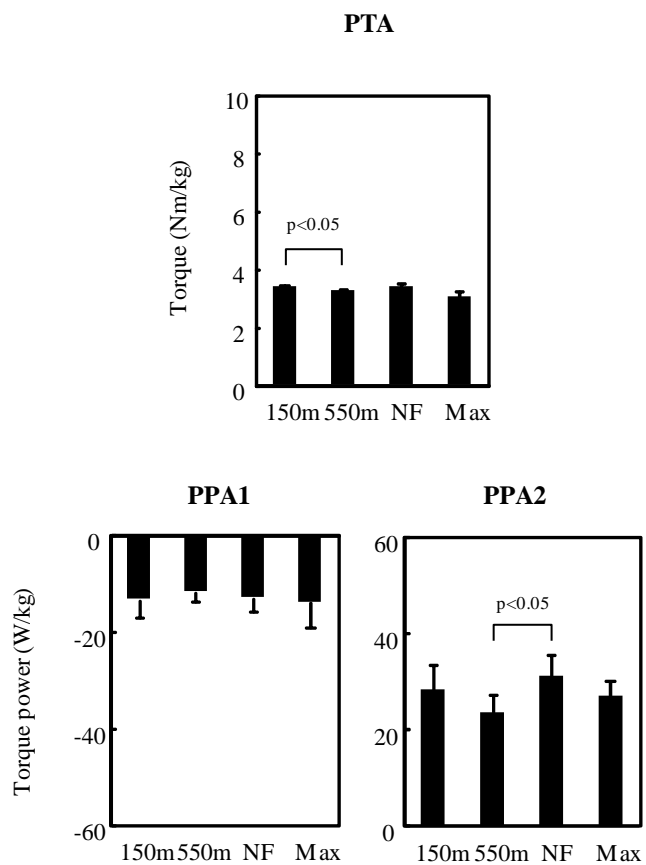


Figure 7-18 Peak ankle joint torque (upper) and torque power (lower) of the support leg at each mark in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

のである。トルクの符号は、股関節および膝関節は正が伸展、負が屈曲、足関節は正が底屈、負が背屈を表す。図 7-19 は、600m 走の各地点、NF 走および Max 走における、1 サイクルの各局面における股関節の正仕事（上段）および負仕事（下段）、図 7-20 は、膝関節の正仕事（上段）および負仕事（下段）、図 7-21 は、足関節の正仕事（正仕事）および負仕事（下段）を平均および標準偏差で示したものである。なお、250m 地点、350m 地点および 450m 地点の局面 1（FC-MS）および局面 2（MS-TO）のデータについては、地面反力を計測していないために算出できなかった。

股関節平均トルクは（図 7-13 上段）、局面 3（TO-FT）および局面 4（FT-CFC）において屈曲トルクが、局面 6（CMS-CTO）から局面 8（FS-FC）において伸展トルクが 150m 地点から 550m 地点にかけて漸減する傾向を示し、それぞれ 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった（局面 3, $p<0.01$ ；局面 4, $p<0.01$ ；局面 6, $p<0.01$ ；局面 7, $p<0.05$ ；局面 8, $p<0.05$ ）。また、これらのトルクは、局面 3（TO-FT）、局面 4（FT-CFC）、局面 7（CTO-FS）および局面 8（FS-FC）において 550m 地点が NF 走より大きく、局面 3（TO-FT）における屈曲トルクには有意差がみられた（ $p<0.05$ ）。股関節平均トルクパワーは（図 7-13 下段）、局面 4（FT-CFC）、局面 7（CTO-FS）および局面 8（FS-FC）において正のパワーが、局面 6（CMS-CTO）において負のパワーが 150m 地点から 550m 地点にかけて漸減する傾向を示し、それぞれ 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった（局面 4, $p<0.001$ ；局面 7, $p<0.05$ ；局面 6, $p<0.05$ ；局面 8, $p<0.05$ ）。また、局面 7（CTO-FS）および局面 8（FS-FC）における正のパワーは、550m 地点が NF 走より大きく、局面 8（FS-FC）において有意差がみられた（ $p<0.05$ ）。局面 3（TO-FT）において 550m 地点が 150m 地点より有意に正のパワーが大きかった。支持脚の股関節ピークトルク（PTH）およびピークトルクパワー（PPH）は 550m 地点が 150m 地点より小さく、PTH に有意差がみられた（ $p<0.05$ ）。PPH は 550m 地点が NF 走より有意に大きかった。

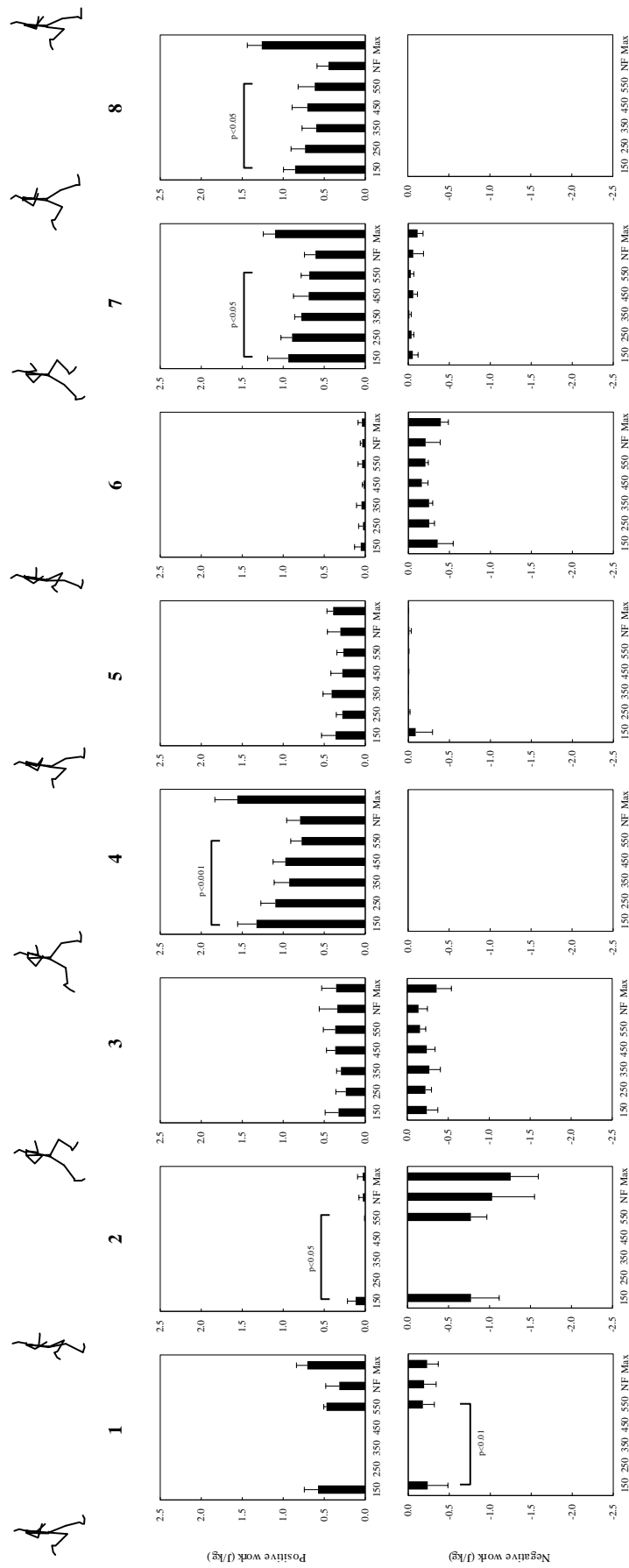


Figure 7-19 Means and standard deviations of hip joint positive (upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

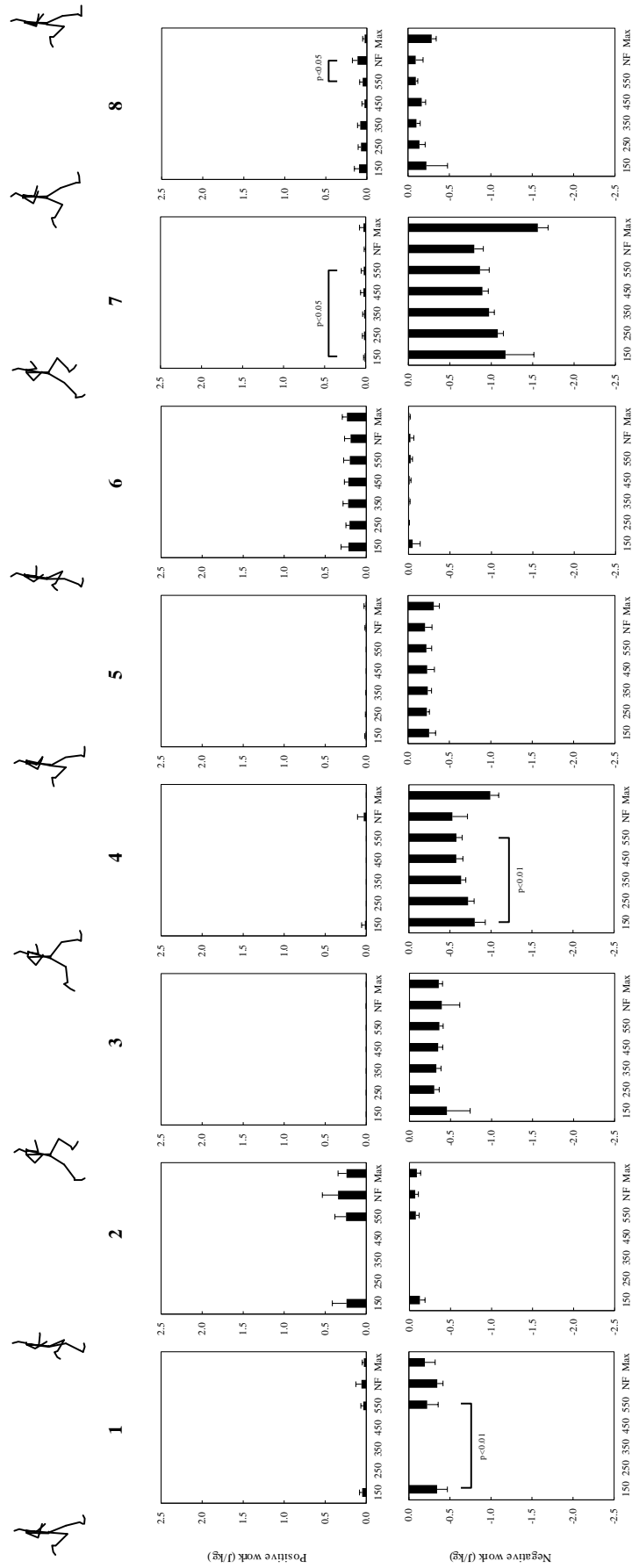


Figure 7-20 Means and standard deviations of knee joint positive (upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

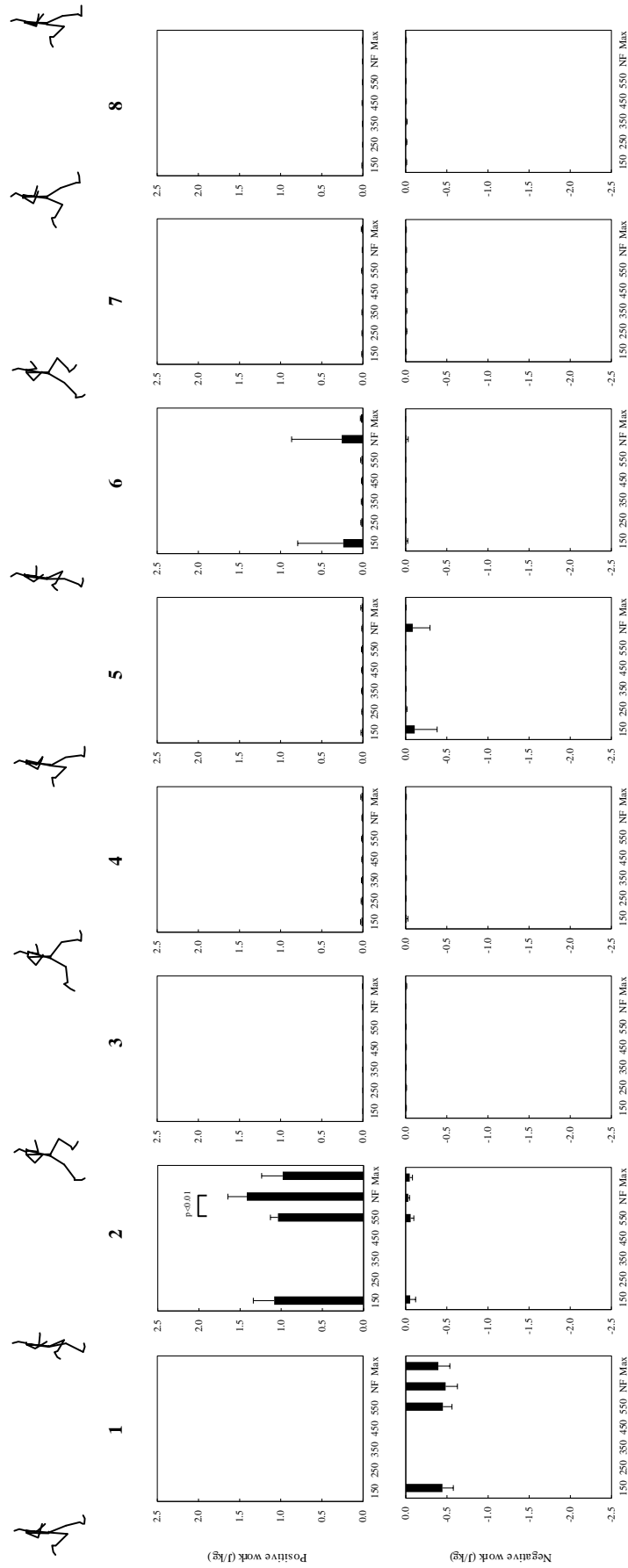


Figure 7-21 Means and standard deviations of ankle joint positive (upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

($p<0.01$) (図 7-16). 股関節の正仕事は (図 7-19 上段), 局面 4 (FT-CFC), 局面 7 (CTO-FS) および局面 8 (FS-FC) において正仕事は 150m 地点から 550m 地点にかけて漸減する傾向を示し, それぞれ 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった (局面 4, $p<0.001$; 局面 7, $p<0.05$; 局面 8, $p<0.05$). また, 局面 7 (CTO-FS) および局面 8 (FS-FC) における正仕事は, 550m 地点が NF 走より大きかった. 局面 2 (MS-TO) において 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.05$). 股関節の負仕事には有意差はみられなかった (図 7-19 下段).

膝関節平均トルクは (図 7-14 上段), 局面 4 (FT-CFC) および局面 5 (CFC-CMS) において屈曲トルクが, 局面 7 (CTO-FS) および局面 8 (FS-FC) において伸展トルクが 150m 地点から 550m 地点にかけて漸減する傾向を示し, それぞれ 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった (局面 4, $p<0.001$; 局面 5, $p<0.01$; 局面 7, $p<0.01$; 局面 8, $p<0.01$). また, 局面 3 (TO-FT) において 550m 地点が NF 走より伸展トルクが有意に大きかった ($p<0.05$). 膝関節平均トルクパワーは (図 7-14 下段), 局面 4 (FT-CFC) および局面 7 (CTO-FS) において負のパワーが 150m 地点から 550m 地点にかけて漸減する傾向を示し, それぞれ 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.01$). 局面 8 (FS-FC) において, NF 走のみ正のパワーを示し, 550m 地点との間に有意差がみられた ($p<0.01$). 局面 1 (FC-MS) において, 550m 地点が 150m 地点より負のパワーが有意に小さかった ($p<0.01$). 支持脚の膝関節ピークトルク (PTK) およびピークトルクパワー (PPK1, PPK2) は, 全て 550m 地点が 150m 地点および NF 走より小さく, PPK1 に有意差がみられた (図 7-17) (150m, $p<0.001$; NF 走, $p<0.01$). 膝関節の正仕事は (図 7-20), 局面 7 (CTO-FS) において 550m 地点が 150m 地点より有意に小さく ($p<0.05$), 局面 8 (FS-FC) において 550m 地点が NF 走より有意に小さかった ($p<0.05$). 負仕事は, 局面 4 (FT-CFC) および局面 7 (CTO-FS) において 150m 地点から 550m 地点にかけて

漸減する傾向を示し、局面 4 において 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.01$)。局面 1 (FC-MS) において 550m 地点が 150m 地点より有意に小さかった ($p<0.01$)。

足関節平均トルクに有意差はみられなかったが(図 7-14 上段), 支持脚の足関節ピークトルク (PTA) は 550m 地点が 150m 地点および NF 走より小さく, 150m 地点との間に有意差がみられた ($p<0.05$) (図 7-18)。平均トルクパワー (図 7-15 下段) および正仕事 (図 7-21 上段) は局面 2 (MS-TO) において 550m 地点が NF 走より有意に小さく, 支持期後半の足関節ピークトルクパワー (PPA2) (図 7-18) も 550m 地点が NF 走より有意に小さかった ($p<0.05$)。局面 3 (TO-FT) から局面 8 (FS-FC) における平均トルク, 平均トルクパワーおよび正負の仕事は極めて小さかった。

図 7-22 は, 被験者 D および F の 600m 走の各地点, NF 走および Max 走における, 1 サイクルの各局面における股関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段), 図 7-23 は, 膝関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段), 図 7-24 は, 局面 1 (FC-MS) および局面 2 (MS-TO) における足関節の平均トルク (上段) および平均トルクパワー (下段) を示したものである。図 7-25 は, 被験者 D および F の 600m 走の各地点, NF 走および Max 走における, 1 サイクルの各局面における股関節の正仕事 (上段) および負仕事 (下段), 図 7-26 は, 膝関節の正仕事 (上段) および負仕事 (下段), 図 7-27 は, 局面 1 (FC-MS) および局面 2 (MS-TO) における足関節の正仕事 (正仕事) および負仕事 (下段) を示したものである。

股関節平均トルクは(図 7-22 上段), 150m 地点から 550m 地点にかけて, 被験者 D では局面 3 (TO-FT) において 屈曲トルクが減少し, 局面 8 (FS-FC) において伸展トルクが減少し, 被験者 F では D より値は小さいが維持していた。股関節平均トルクパワーは (図 7-22 下段), 150m 地点から 550m 地点にかけて, 被験者 D では局面 4 (FT-CFC) および局面 8 (FS-FC) において正のパワーが減少し,

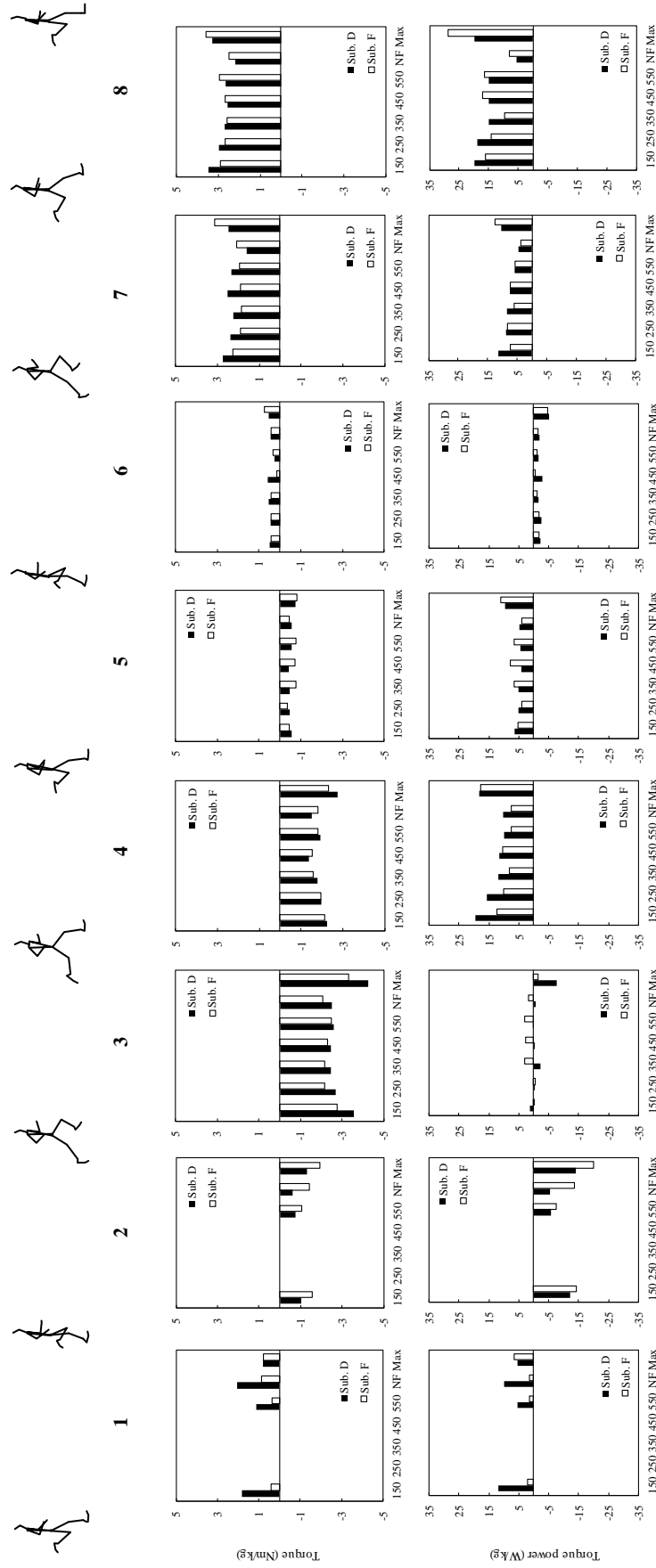


Figure 7-22 Averaged hip joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle for subject D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

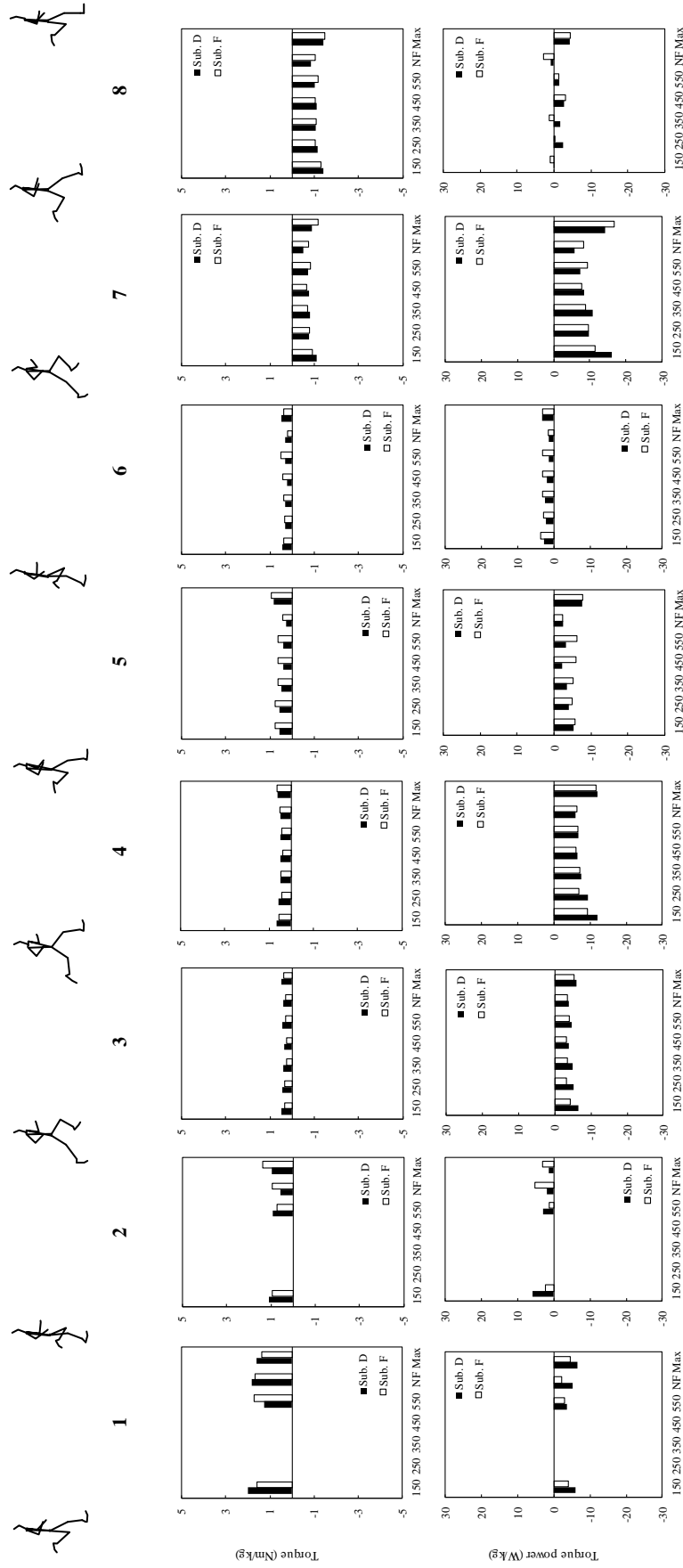


Figure 7-23 Averaged knee joint torque (upper) and torque power (lower) at each phase in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running..

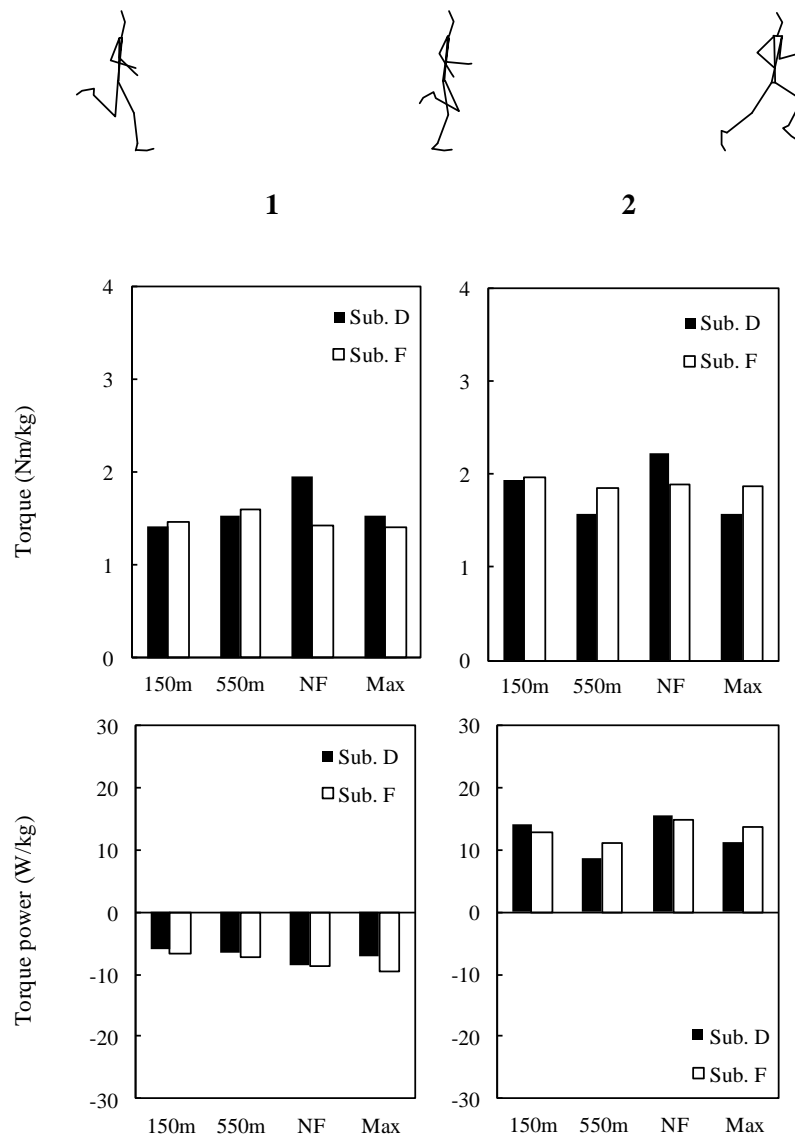


Figure 7-24 Averaged ankle joint torque (upper) and torque power (lower) at phase 1 and 2 in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

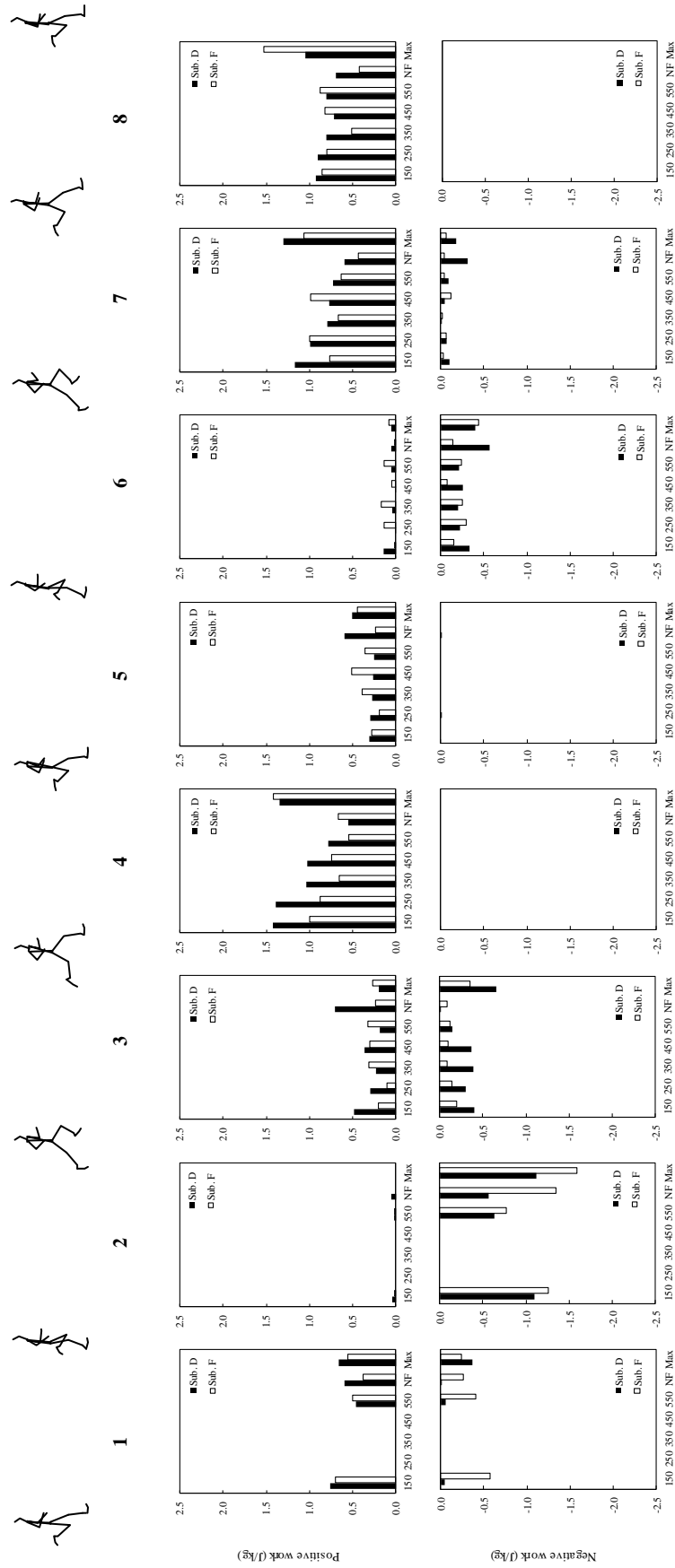


Figure 7-25 Hip joint positive(upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

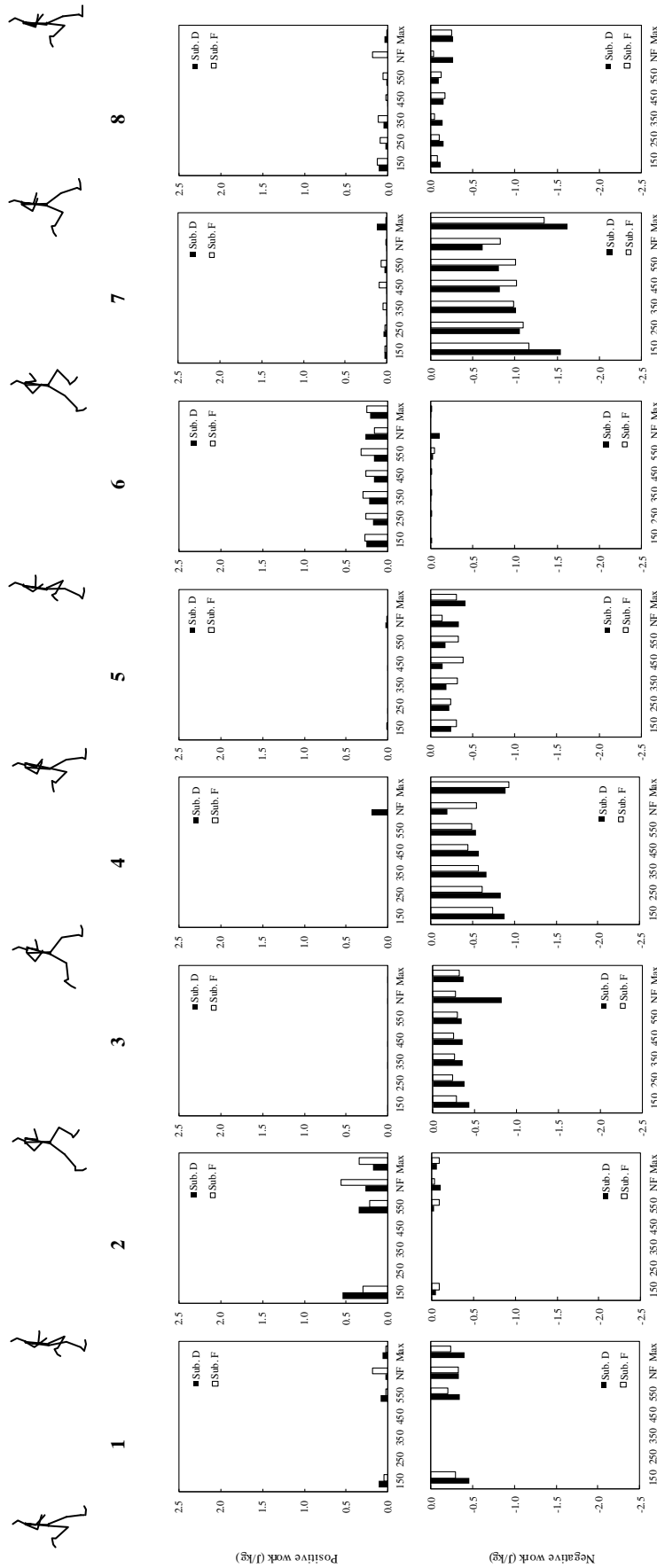


Figure 7-26 Knee joint positive (upper) and negative work (lower) at each phase in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

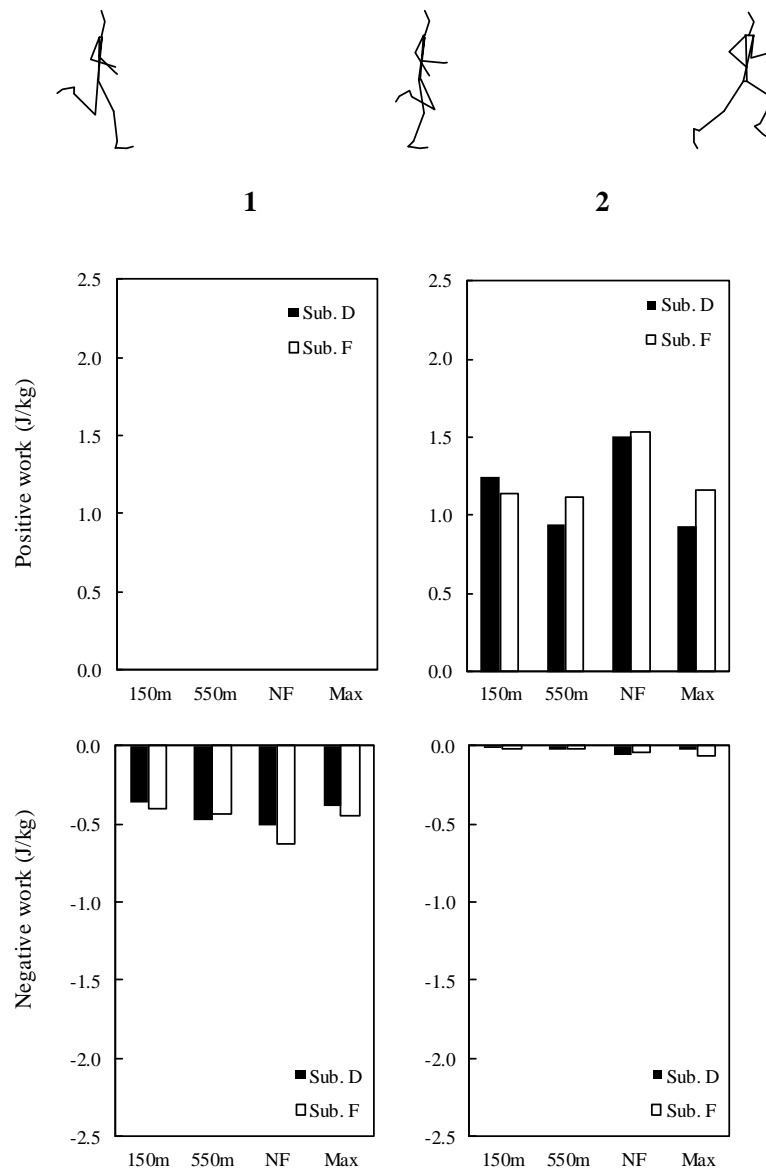


Figure 7-27 Ankle joint positive work (upper) and negative work (lower) at phase 1 and 2 in one running cycle for subjects D and F in the 600m run, non-fatigued and maximal running.

被験者 F では D より値は小さいが維持していた。股関節の正仕事は（図 7-25 上段），150m 地点から 550m 地点にかけて，被験者 D では局面 4（FT-CFC），局面 7（CTO-FS），局面 8（FS-FC）において減少し，被験者 F では D より値は小さいが維持していた。負仕事は（図 7-25 下段），150m 地点から 550m 地点にかけて，被験者 D では局面 3（TO-FT）において減少し，被験者 F では D より値は小さいが維持していた。

膝関節平均トルクは（図 7-23 上段），150m 地点から 550m 地点にかけて，被験者 D では局面 7（CTO-FS）および局面 8（FS-FC）において屈曲トルクが減少し，被験者 F では D より値は小さいが維持していた。膝関節平均トルクパワー（図 7-23 下段）および負仕事（図 7-26 下段）は，150m 地点から 550m 地点にかけて，被験者 D では局面 4（FT-CFC）および局面 7（CTO-FS）において減少し，被験者 F では D より値は小さいが維持していた。

足関節平均トルクは（図 7-24 上段），150m 地点から 550m 地点にかけて，被験者 D では局面 2（MS-TO）において底屈トルクが減少し，被験者 F 維持していた。足関節平均トルクパワー（図 7-24 下段）および正仕事（図 7-27 上段）は，150m 地点から 550m 地点にかけて，被験者 D では局面 2（MS-TO）において減少し，被験者 F では維持していた。

7.4 考察

600m 走中の走スピードは、50～100m 区間において最大に達した後フィニッシュにかけて漸減する傾向を示した（図 7-1）。200m 地点および 400m 地点の通過タイムは、予め設定したタイムより僅かに速かったが、フィニッシュにかけて走スピードが漸減していく「前半型」のレースパターンを再現することができた。したがって、600m 走の後半では疲労が生じており、本研究の分析結果を考察することにより、疲労の影響による走動作の変化について明らかにすることができると考えられる。

7.4.1 疲労の影響による走動作の変化

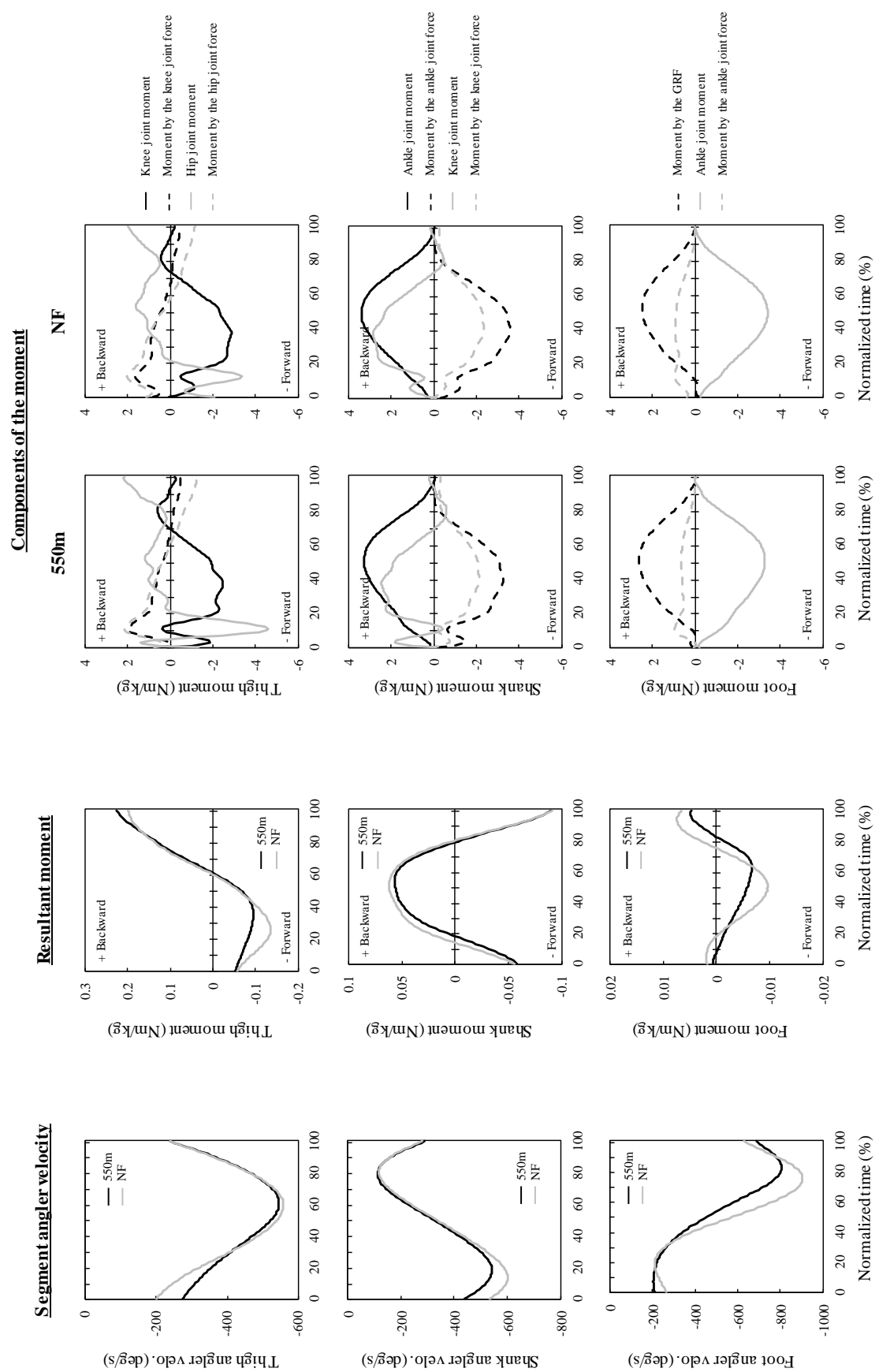
150m 地点から 550m 地点の変化には、疲労の影響だけでなく走速度の影響も大きく関係していると考えられるため、150m 地点と 550m 地点の比較だけでは疲労の影響による変化を明らかにすることができない。そこで、ここでは 550m 地点と NF 走の走動作との比較も行なう。

走速度の減少にともなって、ステップ長、支持期および滞空期距離が有意に減少したが、550m 地点における支持期距離は NF 走とほぼ同じであり、滞空期距離は NF 走より小さかった。このことは、支持期および滞空期距離の減少は疲労だけでなく走速度も影響しているが、滞空期距離の減少には疲労の影響が大きく表れていることを示している。ステップ時間および支持期時間は有意に増大したが、550m 地点における支持期時間は NF 走とほぼ同じであった。滞空期時間の増大はわずかで、550m 地点において NF 走より短かった。このことは、支持期時間および滞空期時間の増大は疲労だけでなく走速度も影響しているが、滞空期時間は疲労の影響によってむしろ短縮することを示している。また、支持期に対する滞空期の距離および時間の比率は 550m 地点にかけて漸減し、550m 地

点においてそれぞれ距離比率が 1.02 ± 0.08 , 時間比率が 0.98 ± 0.08 となり, 尚且つ NF 走 (距離比率: 1.09 ± 0.10 , 時間比率: 1.08 ± 0.09) より小さかったことから, 疲労により支持期に対して相対的に大きな滞空期の距離および時間を獲得できなくなっていたことがわかる. そして, 疲労するにつれてこれらの比率が 1.00, すなわち支持期と滞空期の距離および時間が同程度に近づいていくか, 1.00 より小さくなっていくと考えられる. また, 550m 地点における滞空期の身体重心の上昇 (H3) や離地時の身体重心鉛直速度が NF 走より有意に小さく, 支持期中間における地面反力鉛直成分のピーク (VPF2) や支持期後半における鉛直成分の平均力 (VAF2) も NF 走より有意に小さかったことから, 疲労の影響により同じ支持期時間でも地面に対して大きな力を作用させることができなくなり, これらが支持期に対する滞空期の距離および時間の減少につながったと考えられる.

疾走中に身体に作用する外力である重力, 空気抵抗, 地面反力のうち, 推進力となるものは地面反力である. また, 地面と直接的に力を授受する身体部位は支持脚である. そこで, 支持脚に着目すると, 大腿, 下腿および足角速度は, 局面 1 (FC-MS) および局面 2 (MS-TO) とともに走速度の減少ともなっており有意に減少したが, 550m 地点における局面 1 (FC-MS) の大腿角速度は NF 走より負の値が有意ではないが大きく, 一方で局面 1 (FC-MS) の下腿角速度および局面 2 (MS-TO) の足角速度は負の値が有意に小さかった. このことは, 大腿, 下腿および足角速度は疲労と走速度の影響により減少するが, 疲労の影響によって支持期前半の大腿角速度はむしろ増大し, 一方で支持期前半の下腿角速度および支持期後半の足角速度はさらに減少することを示している. この様な下肢部分の角運動は, 第 4 章 (4.5.2) の運動方程式 (7) で示されるように, 各部分の端に作用するモーメントすなわち関節まわりの筋群によって発揮された関節トルクと, 関節に作用する関節力や地面反力によるモーメントを足し合わせた部分重心まわりのモーメントによって生成される. この関係

をもとに、下肢部分重心まわりのモーメントと部分の角速度との関係について検討した。図 7-28 は、550m 地点および NF 走の支持期における大腿、下腿および足の角速度（左）、各部分重心まわりのモーメント（中）およびそれらの成分（右）を示したものである。なお、データは支持時間を 100% として規格化し、1% 毎に平均した。モーメントは正を後傾、負を前傾とした。550m 地点の大腿角速度は、接地時（0%）において既に NF 走より負の値が大きく、主に股関節伸展トルクや膝関節伸展トルクによって生じる大腿の前傾モーメントは 0～40% において NF 走より小さかった。このことは、疲労の影響によって増大すると考えられた支持前半の大腿角速度は、接地時に既に角速度が大きかったことが影響していることを示している。さらに、支持期 0～40% における大腿の前傾モーメントの減少には主に膝関節トルクの減少が影響しており、局面 1（FC-MS）における平均トルク（図 7-14）およびピークトルク（図 7-17）が有意ではないが減少していたことから、膝関節伸展筋群が疲労していたと考えられる。550m 地点の下腿角速度は、接地時（0%）において既に NF 走より負の値が小さかった。接地直後の支持期 0～20% では膝関節力および足関節力によるモーメントによって下腿の前傾モーメントが大きかったが、20% 以降は支持期の大部分にわたって発揮される膝関節伸展トルクおよび足関節底屈トルクによって後傾モーメントに切り替わる。このことは、疲労の影響によって減少すると考えられた支持期前半の下腿角速度は、接地時に既に角速度が小さかったことが影響しており、支持期では膝関節伸展トルクおよび足関節底屈トルクによって下腿に後傾モーメントが生じるため、接地後に下腿の前傾角速度を大きく増大させることは困難であることを示している。550m 地点の足角速度は、支持期 40～80% において NF 走より負の値が小さく、これには支持期 30～70% における足の前傾モーメントの減少が影響していた。足の前傾モーメントには足関節底屈トルクが影響しており、550m 地点の足関節底屈ピークトルク（PTA）は有意ではないが NF 走



より小さかった (図 7-18)。また、局面 2 (MS-TO) における足関節の平均トルクパワー (図 7-15)、ピークトルクパワー (PPA2) (図 7-18)、正の仕事 (図 7-21) が 150m 地点より有意に小さかった。足関節底屈トルクは地面反力によるモーメントに抗するように発揮されていたことから (図 7-28)、地面反力と足関節キネティクスとの関係について詳しくみていく。図 7-29 は、550m 地点および NF 走における地面反力の水平、鉛直成分 (左) と足関節角速度と足関節トルクとの関係 (右) を被験者ごとに示したものである。ここで、被験者 A および B は、550m 地点と NF 走で支持脚が左右で異なっていたため、考察の対象からは省いた。被験者 C, D, E の 550m 地点における地面反力は、支持期中間の鉛直成分のピーク (図中▲および▲) および支持期後半の水平成分のピーク (図中●および●) が NF 走より小さく、足関節底屈ピークトルクも NF 走より小さかった。このうち、600m 走における走速度の減少が最も大きかった被験者 D では、地面反力および足関節底屈トルクの減少が最も大きかった。一方、走速度の減少が最も小さかった被験者 F では、地面反力および足関節底屈トルクが維持されていた。また、550m 地点における足関節角速度—トルク関係のグラフをみると、特に地面反力鉛直成分のピーク時 (図中▲および▲) から支持期後半の水平成分のピーク時 (図中●および●) にかけて NF 走よりも内側に位置していることがわかる。すなわち、角速度に対する発揮トルクが小さくなる傾向がみられ、これは足関節底屈筋群が疲労していることを示していると考えられる。したがって、足関節底屈筋群の疲労により足関節底屈トルクが減少し、地面反力が減少するとともに足の前傾モーメントも減少し、足角速度が減少したと考えられる。

7.4.2 疲労状態において走速度を維持するための技術

550m 地点における接地時 (FC) の大腿角速度は NF 走より大きく、下腿角速度は小さくなってい

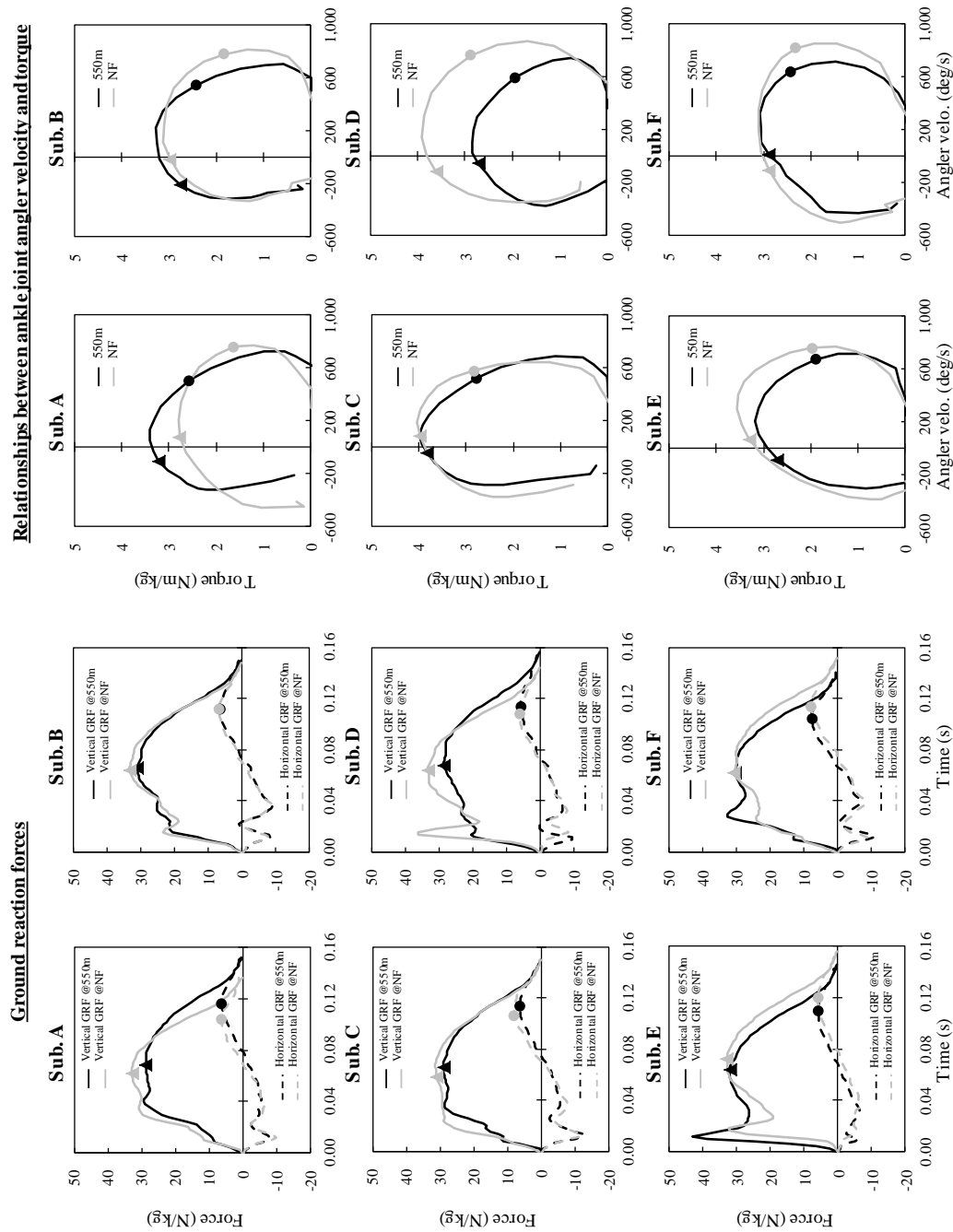


Figure 7-29 Ground reaction forces (left) and the relationships between ankle joint velocity and torque (right) during support phase for each subject. The triangles indicates the instant of the peak vertical ground reaction force during mid-support phase, the circles indicates the instant of the peak horizontal ground reaction force during 2nd support phase.

たことから、これには接地前、すなわち回復期後半における脚の動きが影響していると考えられる。

フォワードスウィング終了時 (FS) において、大腿が前上方へ高く上がって下腿の前方への振り出しが小さくなり (図 7-6)、局面 8 (FS-FC) における接地に向けた大腿の振り下ろしが速くなり、また下腿の振り戻しが遅くなっていた (図 7-7)。このとき、局面 7 (CTO-FS) および局面 8 (FS-FC) における股関節平均伸展トルクおよび平均トルクパワー (図 7-13)、正仕事 (図 7-19) が NF 走より大きく、これらによって高く上がった大腿を接地に向けて素早く振り下ろす動作が生じ、さらに接地時および支持期前半の大腿角速度の増大に繋がったと考えられる。また、局面 7 (CTO-FS) における膝関節平均屈曲トルクには変化がなかったが、負のトルクパワー (図 7-14) および負仕事が有意ではないが NF 走より大きく (図 7-20)、これらが下腿の前方への振り出しの抑制に繋がったと考えられる。これらの傾向は、第 6 章のレース後半の走動作の特徴と類似していた。つまり、回復脚を接地に向けて素早く動かすように変化した。また、回復脚を素早く動かす際には、身体の末端部にある下腿よりも、股関節を中心とした身体の中心部に近い大腿を素早く振り下ろす動作へと変化した (図 7-7)、これによりフォワードスウィング終了時 (FS) から接地にかけての下腿角速度の減少が生じ、接地時および支持期前半の下腿角速度の減少に繋がったと考えられる。

550m 地点における回復脚の動きは、回復期後半における接地に向けた脚の素早い動きへの変化だけでなく、回復期前半の動きにも変化がみられた。550m 地点において、離地時に大腿は NF 走より後方に流れた姿勢になっていたが (図 7-6)、局面 3 (TO-FT) すなわち離地後の股関節平均屈曲トルクおよび平均トルクパワーが NF 走より大きく (図 7-13)、離地後の大腿の前方へのリカバリー開始が早まっていた (図 7-7)。この傾向も、第 6 章のレース後半の走動作の特徴と類似していた。

これらの回復脚動作の変化と、550m 地点における滞空期時間が NF 走より短かったこと、支持期

に対する滞空期の距離および時間の比率が減少することをあわせて考えると、回復脚股関節を中心とした接地に向けた脚の素早い動きと、離地後に早いタイミングで前方へ引き出す動きは、支持期時間を短縮することに繋がると考えられる。そして、レース後半では、特に支持脚足関節底屈筋群および膝関節伸展筋群の疲労により関節トルクおよび地面反力が減少してステップ長が減少することを踏まえると、股関節屈曲・伸展筋群のパワーを増大させて回復脚を素早く動かし、ステップ時間を短縮することによって走速度を維持するという技術が効果的であると考えられる。このことは、第5章や第6章において、レース後半にステップ頻度の漸増がみられることから示唆される。

ところが、600m 前半の走速度が大きく、後半に大きく減速した被験者 D では、局面 8 (FS-FC) における大腿角速度 (図 7-8 上段)、股関節平均伸展トルク (図 7-22 上段) およびトルクパワー (図 7-22 下段)、股関節の正仕事 (図 7-25 上段) が、600m 走前半では大きかったが、後半では大きく減少していた。さらに、局面 3 (TO-FT) における股関節平均屈曲トルク (図 7-22 上段)、局面 4 (FT-CFC) における股関節平均トルクパワー (図 7-22 下段) および股関節の正仕事 (図 7-25 上段) も同様の傾向を示した。また、150m 地点における滞空期時間および支持期時間は、平均的には滞空期時間の方が長く、その比率は 1.08 ± 0.10 であるが (図 7-3)、被験者 D の滞空期時間は短く、支持期時間に対する比率も 1.00 と小さく、ステップ時間が短かった (図 7-4)。これらのことは、被験者 D では、600m 前半において股関節を中心とした回復脚の素早い動きによって滞空期時間およびステップ時間を短縮させ、大きな走速度を発揮していたが、逆にこのことが回復脚股関節の過度な疲労を生じさせ、600m 走後半においてこれらを維持できなくなったことを示していると考えられる。一方、600m 走全体を通して比較的走速度を維持していた被験者 F では、600m 走前半の走速度は被験者 D より小さかったが、350m 地点以降走速度を維持しており、このとき滞空期時間およびステップ時間が減少し

ていた (図 7-4)．さらに，回復脚の大腿角速度 (図 7-8 上段)，股関節平均トルク (図 7-22 上段) およびトルクパワー (図 7-22 下段)，仕事 (図 7-25 上段) は，600m 走前半では被験者 D より値が小さかったが，後半までその大きさが比較的維持されており，このことが滞空期時間およびステップ時間の減少および走速度の維持に繋がったと考えられる．したがって，疲労状態において走速度を維持するためには，回復脚股関節のトルクおよびパワーを維持し，滞空期時間およびステップ時間を短縮させることが効果的であるが，被験者 D のようにレース前半においてステップ時間を短縮し過ぎると，支持脚が疲労するだけでなく回復脚股関節も大きく疲労し，レース後半において回復脚の素早い動きによって滞空期時間およびステップ時間を短縮させることができなくなるので，オーバーペースを防ぐなどペース配分の調整も重要であろう．

7.5 要約

本研究の目的は、本研究の目的は、600m 走中における走動作および地面反力を計測し、走速度減少前後の走動作の比較および疲労のない状態での走動作（NF 走）との比較を行なうことにより、疲労の影響による走動作の変化を明らかにし、疲労状態において走速度を維持するための技術を明らかにすることであった。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 疲労の影響による走動作の変化

550m 地点では NF 走に比べて、

- ① 滞空期の距離および時間が減少し、支持期に対する滞空期の比率が小さかった（約 1.00）。
- ② 滞空期の身体重心の上昇や離地時の身体重心鉛直速度が有意に小さく、支持期中間における地面反力鉛直成分のピークや支持期後半における鉛直成分の平均力が有意に小さかった
- ③ 接地時～支持期前半において大腿角速度が増大し、一方で下腿角速度が減少した。
- ④ 支持脚の膝関節伸展トルクが減少して支持期前半の大腿前傾モーメントが減少し、足関節底屈トルクが減少して地面反力および足前傾モーメントが減少した。

以上のことから、支持脚足関節底屈筋群および膝関節伸展筋群の疲労により関節トルクおよび地面反力が減少し、離地時の身体重心鉛直速度が減少することにより滞空期の距離および時間が減少することが明らかとなった。

(2) 疲労状態において走速度を維持するための技術に関連して

550m 地点では NF 走に比べて、

① 回復期前半において、離地後の股関節屈曲トルクおよびトルクパワーが大きく、大腿の前方へのリカバリー開始が早まった。

② 回復期後半において、大腿が前上方へ高く上がって下腿の前方への振り出しが小さくなり、接地に向けた大腿の振り下ろしが速くなって下腿の振り戻しが遅くなっていた。また、股関節伸展トルク、トルクパワーおよび正仕事、膝関節トルクパワーおよび負仕事が大きくなっていた。

以上のことから、疲労状態においては、支持脚足関節底屈筋群および膝関節伸展筋群の疲労により地面反力が減少するため、回復脚股関節屈曲・伸展筋群のパワーを増大させて脚を素早く動かし、ステップ時間を短縮することによって走速度を維持するという技術が効果的であると考えられる。また、疲労状態においてこのような回復脚の素早い動きを可能にするためには、レース前半においてステップ時間が過度に短くならないよう、ペース配分を調整することも重要であると考えられる。

8. 800m 走パフォーマンス向上のためのトレーニングおよびコーチングへの示唆

本章では、第5章から第7章において得られた知見をもとに、800m 走パフォーマンス向上のためのレースパターンと走動作に関するトレーニングおよびコーチングへの示唆を得ることを目的とする。

8.1 レースパターンに関する示唆

8.1.1 よい記録を出すためのレースパターンの特徴について

第5章において、記録水準の異なる男子 800m 選手のレース中の走スピード、ステップ長およびステップ頻度の変化を分析し、800m 走のレースパターンの特徴および記録とレースパターンとの関係が明らかとなった。走スピードは、平均的には 120～200m 区間において最大に達したのち 400m まで漸減し、後半の 400m において全体的に維持するような変化パターンを示した (図 5-1)。また、レース平均走スピードと各区間の走スピードとの相関係数はレース中盤 (200～600m) において大きく (図 5-2)、よい記録を出すためにはレース中盤における走スピードの維持が重要であることが示唆された。さらに、相対走スピードからみたペース配分は、記録水準にかかわらずほぼ同じであったことから (図 5-6)、各区間の相対走スピードを平均することにより、800m 走における平均レースパターンを導き出した (表 5-7, 図 5-8)。したがって、よい記録を出すためには、平均的には図 5-8 のようなレースパターンで走ること効果的であると考えられる。

8.1.2 レースパターンの改善について

第5章では、800m 走のレースパターンを、「前半型」「中間型」「後半型」の3つに類型化した（表 5-8, 図 5-9）。これらのモデルは、レースパターンを改善する上での目標値やレースを評価するための基準値として活用できると考えられる。

そこで、男子 800m 選手 Y を対象に第5章において導き出したモデルを用い、レースパターンの評価を行ない、その改善による目標タイムの達成を試みた。表 8-1 は、選手 Y の 2005 年から 2009 年にかけての 800m 走のシーズンベスト記録を示したものである。選手 Y に対して、2007 年から 2009 年にかけての3年間、モデルレースパターン（表 5-8, 図 5-9）を用いて目標タイム 1 分 46 秒 0 を達成するためのモデルレースパターンを算出し、レース毎に実際のレースとモデルとを比較し、レースパターンの修正点の検討を行い、改善を試みた。

図 8-1 は、選手 Y の 2006 年から 2009 年にかけてのレースパターンの変遷を示したものである。上段は、2006 年（1 分 48 秒 42）および 2007 年（1 分 47 秒 16）のレースパターンを示したものである。いずれのレースも、レース序盤の走スピードが大きく、中盤で一度大きく低下し、終盤で再び増大するような「U 字型」のパターンであった。選手 Y は、2007 年から 1 分 46 秒 0 を目標記録に設定し、モデルレースパターンを活用したレースパターンの改善に取り組み始めた。

図 8-1 中段は、目標記録（1 分 46 秒 0）を表 5-8 および図 5-9 の「前半型」に当てはめた場合のモデルレースパターン、2007 年（1 分 47 秒 16）および 2008 年（1 分 48 秒 20）のレースパターンを示したものである。なお、モデルのタイプの選択については、①第5章において分析対象とした G46-47 の選手は、全員「前半型」か「中間型」に分類され、「後半型」は 1 人もいなかったこと、②選手 Y のそれまでの特徴であった「U 字型」レースパターンでは（図 8-1 上段）、レース記録との

Table 8-1 Seasonal best record of subject Y.

Year	Age	Seasonal best record
2005	17	1:49.81
2006	18	1:48.42
2007	19	1:47.16
2008	20	1:47.35
2009	21	1:46.16

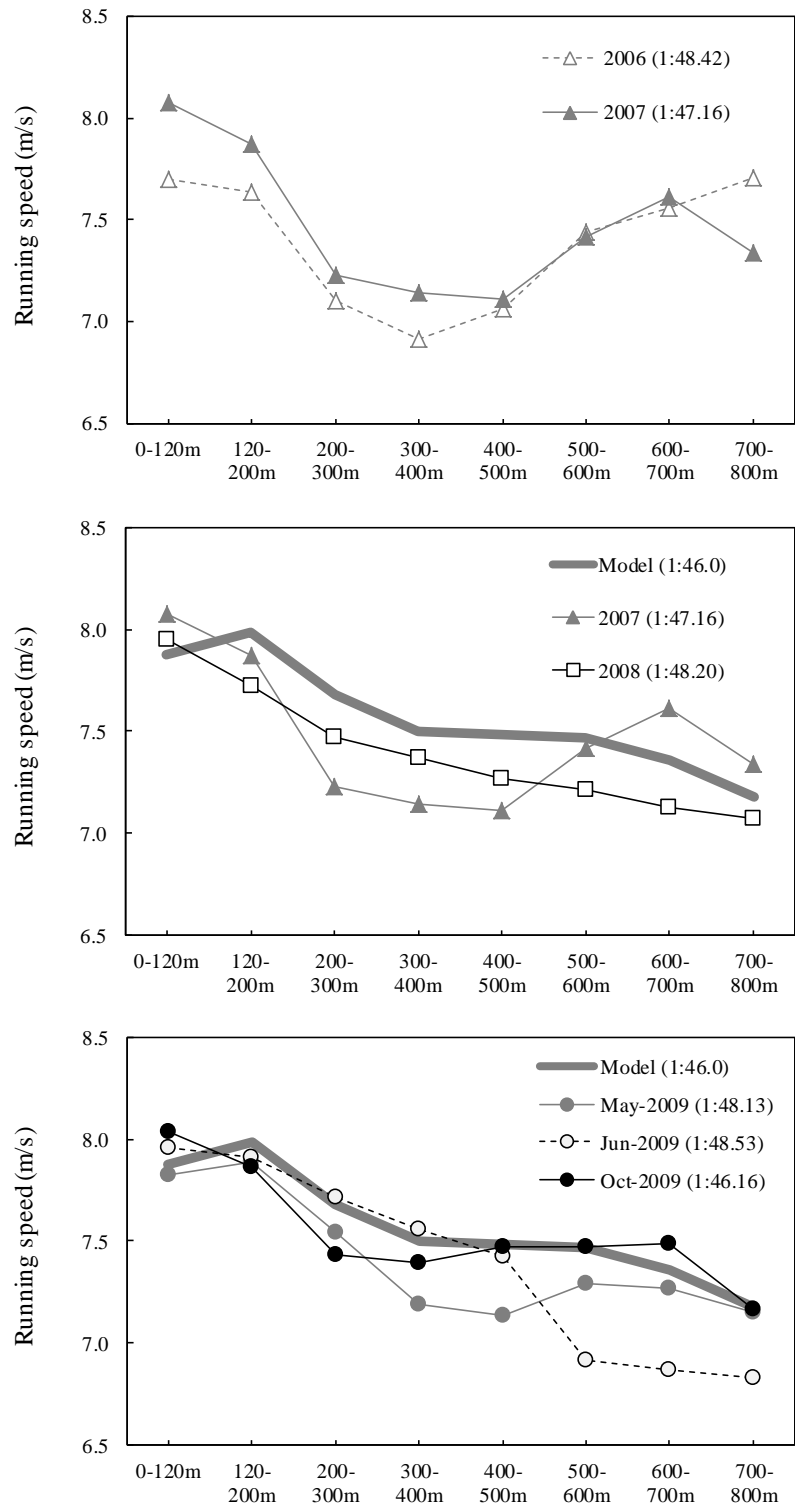


Figure 8-1 Change in the race pattern for subject Y from 2006 to 2009.

相関係数が高いレース中盤の走スピードが小さくなってしまうこと（図 5-2）などを勘案し、「前半型」のモデルを採用することとした。モデルと 2007 年（1 分 47 秒 16）とを比較すると、200～500m のレース中盤において走スピードがモデルを大きく下回っており、レース中盤で走スピードを維持することが課題であることがわかる。これらを踏まえ、レースパターンの改善についてアドバイスしたところ、2008 年ではレース記録は 1 分 48 秒 20 と 2007 年（1 分 47 秒 16）よりも劣るが、レースパターンは 2006 年（1 分 48 秒 42）および 2007 年（1 分 47 秒 16）から大きく変化していた。具体的には、課題とされたレース中盤の大きな減速がなくなり、全体的なパターンがモデルに近づくように改善されていた。

図 8-1 下段は、1 分 46 秒 0 前半型モデルレースパターン、2009 年 5 月（1 分 48 秒 13）、2009 年 6 月（1 分 48 秒 53）、2009 年 10 月（1 分 46 秒 16）におけるレースパターンを示したものである。2009 年 5 月（1 分 48 秒 13）では、レース序盤および終盤の走スピードはモデルに近いが、レース中盤の走スピードは減少が大きかったことから、中盤の走スピード維持が課題であると考えられた。これを踏まえ、2009 年 6 月（1 分 48 秒 53）では、レース終盤で大きく失速したものの、スタート～レース中盤まではモデルと同じ走スピードで走っており、課題とされたレース中盤において走スピードが維持されていた。そして、2009 年 10 月では、目標記録 1 分 46 秒に近い 1 分 46 秒 16 の自己新記録で走ることができ、この時のレースパターンは、それまでのレースの中で最もモデルに近いものに改善されていたことがわかる。

このように、選手 Y は実際のレースパターンとモデルレースパターンとの比較によってレースパターンを評価し、具体的な修正点を検討し、トレーニングやレースに反映させることでレースパターンが改善され、自己新記録更新および目標タイムに近づくことができた。ここで示した選手 Y の

レースパターンの改善は 1 例であるが、本研究で得られた 800m 走のモデルレースパターンが、レースパターンを改善する上での目標値や選手のレースパターンを評価するために利用できることを示していると考えられる。

指導現場においては、スピードより各地点の通過タイムがペース配分の指標としてよく利用されている。そこで、以下に 100m 毎の区間タイムおよび通過タイムの算出方法を示した。

$$800\text{m 平均走スピード (m/s)} = 800 \text{ (m)} \div \text{目標記録 (s)}$$

$$\text{区間走スピード (m/s)} = 800\text{m 平均走スピード (m/s)} \times \text{区間相対走スピード (\%)} \div 100$$

$$\text{区間タイム (s)} = \text{区間距離 (m)} \div \text{区間走スピード (m/s)}$$

通過タイムは、区間タイムをスタートから順に加算することにより算出する。

本研究で得られたモデルレースパターンは、1 分 46 秒 00 から 1 分 53 秒 99 までの記録水準の選手のデータが基になっているため、この範囲の記録を達成するための目安となる通過タイムをモデルのタイプ毎に算出した。表 8-2 は、モデルレースパターンのタイプに応じた目標タイムおよび通過タイムを示したものである。これにより、選手やコーチは目標タイムに対する通過タイムの目安を簡便に把握することができ、レース戦術やトレーニング法を考案する際の資料としての活用することができると考えられる。具体的には、指標をもとにトレーニングにおいて実際にその通過タイムで走ることによってペース配分を学習することや、レースにおいて実際の通過タイムを計測して指標と比較することで、どの局面においてロスが大きく生じているかなどを確認することができると考えられる。また、3 つのモデルのうち、どれが選手に適しているかを判断するための方法については、本研究の結果からは具体的に言及できないが、選手の記録水準、体力、技術、経験、心理的特性などが総合的に関係すると考えられ、今後の検討課題である。

Table 8-2 Target time and elapsed time for the type of the model race patterns.

Type	Target time	120m	200m	300m	400m	500m	60m	700m	800m
Positive	1:46.00	15.24	25.25	38.28	51.61	1:04.98	1:18.37	1:31.97	1:46.00
	1:47.00	15.38	25.49	38.64	52.10	1:05.59	1:19.11	1:32.84	1:47.00
	1:48.00	15.53	25.73	39.00	52.59	1:06.21	1:19.85	1:33.71	1:48.00
	1:49.00	15.67	25.97	39.37	53.07	1:06.82	1:20.59	1:34.57	1:49.00
	1:50.00	15.81	26.21	39.73	53.56	1:07.43	1:21.33	1:35.44	1:50.00
	1:51.00	15.96	26.45	40.09	54.05	1:08.05	1:22.07	1:36.31	1:51.00
	1:52.00	16.10	26.68	40.45	54.53	1:08.66	1:22.81	1:37.18	1:52.00
	1:53.00	16.24	26.92	40.81	55.02	1:09.27	1:23.55	1:38.04	1:53.00
Medium	1:54.00	16.39	27.16	41.17	55.51	1:09.89	1:24.29	1:38.91	1:54.00
	1:46.00	15.49	25.59	38.80	52.25	1:05.87	1:19.29	1:32.59	1:46.00
	1:47.00	15.63	25.83	39.16	52.74	1:06.49	1:20.04	1:33.46	1:47.00
	1:48.00	15.78	26.07	39.53	53.24	1:07.11	1:20.78	1:34.33	1:48.00
	1:49.00	15.92	26.32	39.89	53.73	1:07.74	1:21.53	1:35.21	1:49.00
	1:50.00	16.07	26.56	40.26	54.22	1:08.36	1:22.28	1:36.08	1:50.00
	1:51.00	16.22	26.80	40.63	54.72	1:08.98	1:23.03	1:36.95	1:51.00
	1:52.00	16.36	27.04	40.99	55.21	1:09.60	1:23.78	1:37.83	1:52.00
Negative	1:53.00	16.51	27.28	41.36	55.70	1:10.22	1:24.52	1:38.70	1:53.00
	1:54.00	16.65	27.52	41.72	56.20	1:10.84	1:25.27	1:39.57	1:54.00
	1:46.00	15.58	25.82	39.37	53.06	1:06.56	1:19.65	1:32.83	1:46.00
	1:47.00	15.73	26.07	39.74	53.56	1:07.18	1:20.40	1:33.70	1:47.00
	1:48.00	15.87	26.31	40.11	54.06	1:07.81	1:21.15	1:34.58	1:48.00
	1:49.00	16.02	26.55	40.48	54.56	1:08.44	1:21.90	1:35.46	1:49.00
	1:50.00	16.17	26.80	40.86	55.06	1:09.07	1:22.65	1:36.33	1:50.00
	1:51.00	16.31	27.04	41.23	55.56	1:09.70	1:23.41	1:37.21	1:51.00
	1:52.00	16.46	27.28	41.60	56.06	1:10.32	1:24.16	1:38.08	1:52.00
	1:53.00	16.61	27.53	41.97	56.56	1:10.95	1:24.91	1:38.96	1:53.00
	1:54.00	16.75	27.77	42.34	57.06	1:11.58	1:25.66	1:39.83	1:54.00

8.2 走動作に関する示唆

8.2.1 レース前半の走動作について

第 6 章において、レース前半では、支持期に大きな力を発揮して大きな滞空期距離を獲得し、下腿を前方へ振り出した後に接地に向けて素早く振り戻し、離地後に大腿を後方へ大きく流した後に素早く前方へ引き出すようにして走っていたことが明らかとなった。また、「前半型」のレースパターンにおける走動作の特徴は、滞空期距離およびステップ長が大きいだけでなく、支持期時間およびステップ時間が短い、支持期後半からフォロースルー終了時にかけての大腿の後方スウィングや、回復脚下腿の前後へのスウィングが速い、回復脚のトルクやトルクパワー、仕事が多いなどが特徴であった。

福島ら（1997）は、400m 走前半の走動作の特徴を全力疾走時の走動作と比較して検討し、400m 走前半は全力疾走時に比べてステップ長が変わらずにステップ頻度が有意に小さいこと、回復脚股関節の動作範囲が変わらずに屈曲および伸展角速度が有意に小さいこと、下腿の前傾角速度が有意に小さいことなどの特徴がみられたと述べている。表 8-3 は、福島ら（1997）の 400m 走前半（上段）、本研究の第 6 章の 800m レースの 150m 地点（中段）、第 7 章の 600m 走の 150m 地点（下段）と全力スプリント走における走速度、ステップ長およびステップ頻度を比較したものである。なお、比較した全力スプリント走の走速度、ステップ長およびステップ頻度は、福島ら（1997）については彼らの論文の中で示されている値を用い、本研究については第 7 章において実施した全力でのスプリント走の値を用いた。福島ら（1997）の被験者（16 名）の 400m 走の最高記録は 48 秒 87 ± 1 秒 16 であり、本研究の第 6 章の分析対象者 9 名のうち 4 名の 400m 走のシーズン最高記録または自己最高記録は 48 秒 11 ± 0 秒 33 であったことから、福島ら（1997）の被験者と本研究の分析対象者の 400m

Table 8-3 Comparison of running velocity, step length and step frequency between maximum sprint, race running and experimental running in the study of Fukushima et al. (1997) and the present study.

		Fukushima et al. (1997)		
		max sprint	first half of 400m	ratio to max sprint
Running velocity	(m/s)	9.76 ± 0.36	8.39 ± 0.20	86.0%
Step length	(m)	2.23 ± 0.07	2.25 ± 0.08	100.9%
Step frequency	(steps/s)	4.38 ± 0.11	3.73 ± 0.13	85.2%

		Present study (800m)		
		max sprint in the study-3	150m mark of 800m in the study-2	ratio to max sprint
Running velocity	(m/s)	9.40 ± 0.39	7.66 ± 0.32	81.5%
Step length	(m)	2.17 ± 0.11	2.21 ± 0.08	101.8%
Step frequency	(steps/s)	4.34 ± 0.34	3.46 ± 0.09	79.7%

		Present study (600m)		
		max sprint in the study-3	150m mark of 600m in the study-3	ratio to max sprint
Running velocity	(m/s)	9.40 ± 0.39	8.35 ± 0.42	88.8%
Step length	(m)	2.17 ± 0.11	2.19 ± 0.19	100.9%
Step frequency	(steps/s)	4.34 ± 0.34	3.82 ± 0.21	88.0%

走能力はほぼ等しいと考えられる。表 8-3 をみると、いずれの研究においても、800m 走の 150m 地点および 600m 走の 150m 地点は、全力スプリント走と比較してステップ長がほとんど変わらず、ステップ頻度のみが大きく異なっていることがわかる。さらに、全力スプリント走に対する走速度の割合と（400m 走前半：86.0%，800m 走の 150m 地点：81.5%，600m 走の 150m 地点：88.8%）と、ステップ頻度の割合（400m 走前半：85.2%，800m 走の 150m 地点：79.7%，600m 走の 150m 地点：88.0%）は近い値になっている。このことは、400m、800m 選手は、レース序盤において、全力疾走時に対してステップ長は変えず、ステップ頻度を調整することでレース中の最大走スピードの大きさを調節していることを示している。またこの傾向から、800m 走の 150m 地点において、ステップ頻度を 400m 走や 600m 走と同程度（全力スプリントに対して約 85～90%）まで増大させてしまうと疲労を招きやすく、レース後半に大きく失速する可能性が高くなると推察される。特に、ステップ頻度の増大には滞空期時間の短縮が関係し、これは回復脚の素早い動きによってもたらされていることから、150m 地点におけるステップ頻度の過度な増大は、回復脚の疲労を引き起こすことに繋がると考えられる。

したがって、800m 走の場合、150m 地点における走速度およびステップ頻度の目安として、全力スプリントに対して約 80% に増大させることが適していると示唆される（表 8-3 中段）。また、800m レース中のステップ頻度の変化をみると（図 5-3）、0～120m 区間におけるステップ頻度は 150m 地点が含まれる 120～200m 区間より大きいので、0～120m 区間のステップ頻度はさらに大きい約 85% まで増大させ、120～200m 区間において約 80% に調整することが望ましいと考えられる。

8.2.2 レース後半の走動作について

第6章および第7章において、レース後半では支持脚足関節底屈筋群および膝関節伸展筋群の疲労により、関節トルクおよび地面反力が減少し、離地時の身体重心鉛直速度が減少することにより滞空期の距離および時間が減少することが明らかとなった。それに対して、回復脚股関節屈曲・伸展筋群のパワーを増大させて脚を素早く動かし、滞空期時間およびステップ時間を短縮することによって走速度に維持に努めていたことが明らかとなった。したがって、レース後半においては、支持脚で地面を強くキックしてステップ長を増大させるのではなく、回復脚を素早く動かして滞空期時間を短縮し、ステップ時間を短縮させることで走速度を維持することが効果的であると考えられる。

また、レース後半の疲労状態において回復脚の素早い動きを可能にするためには、レース前半のペース配分と走動作も重要である。上述したように、150m地点において過度に走速度とステップ頻度を増大（ステップ時間を短縮）させることによって疲労が大きくなり、レース後半において回復脚を素早く動かすことが困難となると考えられる。したがって、150m地点においてステップ時間が過度に短くならないよう、ペース配分を調整することが望ましいと考えられる。

8.3 走動作のトレーニングおよびコーチングへの示唆

800mレース中、走速度、ステップ長およびステップ頻度は一定ではなく局面に応じて変化するが、これには走速度の影響や疲労の影響が相互に関係していることが明らかとなった。したがって、800m選手は様々な走速度やステップ長およびステップ頻度で走トレーニングを行なうことが望ましい。さらに、同じ走速度でもステップ長やステップ頻度を意図的に変えて走ることや、疲労の有

無など様々な状態の中で動作をコントロールして走ることも必要である。したがって、以下のよう
なトレーニング手段を目的に応じて組み合わせて行なうことが効果的であると考えられる。

- ① **Ins and Outs** やウェーブ走とよばれるトレーニングは、総長 100～150m の距離を 20～30m のい
くつかの区間に区切り、その区間毎にステップ長とステップ頻度を意図的に変化させて走るも
のであるが、これは様々なステップ長とステップ頻度での走動作やその感覚の習得に効果的で
あると考えられる。
- ② メトロノームなどの音に足を接地するタイミングを合わせるようにして走ることにより、その
局面におけるステップ頻度とその感覚を習得することができると考えられる。例えば、レース
の序盤であれば全力スプリントの 80～85% のステップ頻度を目標にして走ることが適している
と考えられる。また、疲労状態においてこの方法を用いることで、疲労状態でステップ頻度を
維持する動きが身につくと考えられる。
- ③ 様々な間隔でマーカーを設置し、その間隔に合わせて接地しながら走ることでステップ長を制
御することができ、様々なステップ長での走動作とその感覚を習得することができると考えら
れる。例えば、これを 800m 選手が行うインターバルトレーニングやテンポ走などの専門的な
走トレーニングに組み込むことにより、体力の向上のみならず、技術の向上を目的としたトレ
ーニングにもなり得ると考えられる。
- ④ バウンディングは、股関節まわりの筋群のパワー発揮能力を高めるために有効なトレーニング
である（永井，2002）。これを短い距離だけでなく、200～400m など比較的長い距離において疲
労が生じるような状況下で行なうことで、レース後半における股関節まわりの筋群のパワー持
続能力を高めることができると考えられる。

9. 結 論

本研究の目的は、男子 800m 選手の公式レースにおけるレースパターンおよび走動作の特徴を明らかにするとともに、疲労の影響による走動作の変化を明らかにし、疲労状態において走速度を維持するための技術を明らかにすることにより、800m 走パフォーマンス向上のためのトレーニングおよびコーチングへの示唆を得ることであった。この目的を達成するために 4 つの研究課題を設定し、以下のことが明らかとなった。

1. 記録水準の異なる男子 800m 選手のレース中の走スピード、ステップ長およびステップ頻度の変化を分析して記録とレースパターンとの関係について明らかにし、レースパターンの類型化を行なった。走スピードは、120～200m 区間において最大に達したのち 400m まで漸減し、後半の 400m において全体的に維持するような変化パターンを示した。また、相対走スピードからみたペース配分は、記録水準にかかわらずほぼ同じであったことが明らかとなり、相対走スピードを区間毎に平均することによって 800m 走における平均レースパターンを導き出した。さらに、「前半型」「中間型」「後半型」の 3 つのモデルレースパターンに類型化した。
2. 800m レース中の走動作を分析し、レースパターンと走動作との関係について検討することにより、800m 走の走動作の特徴について明らかにした。レース前半では走速度が大きく、大きな滞空期距離を獲得し、下腿を前方へ振り出した後に接地に向けて素早く振り戻し、離地後に大腿を後方へ大きく後に素早く前方へ引き出していた。レース後半では、走速度を維持しており、支持脚の疲労により滞空期距離が減少するが、回復脚を素早く動かすことで対応してステップ

頻度を高めることで走速度の維持に努めていた。

3. 疲労状態と疲労のない状態での走動作を比較し、疲労の影響による走動作の変化をとらえ、疲労状態において走速度を維持するための技術を明らかにした。支持脚足関節底屈筋群および膝関節伸筋群の疲労により関節トルクと地面反力、および離地時の身体重心鉛直速度が減少することにより滞空期の距離および時間が減少していた。また、疲労状態においては、回復脚股関節の屈曲・伸筋群のパワーを増大させて脚を素早く動かし、ステップ時間を短縮することによって走速度を維持するということが効果的であると考えられる。そして、疲労状態において回復脚の素早い動きを可能にするためには、レース前半においてステップ時間が過度に短くならないように、ペース配分を調整することが重要であると考えられた。
4. 本研究で明らかとなったモデルレースパターンは、レースパターンを改善する上での目標値となり、選手のレースパターンを評価するために利用できる。走動作については、レース前半におけるステップ頻度の過度な増大は、回復脚の疲労を引き起こし、レース後半の大きな減速につながることから、ステップ頻度を全力スプリントに対して約 80 % にすることが望ましい。レース後半においては、支持脚で地面を強くキックしてステップ長を増大させるよりも、回復脚を素早く動かしてステップ時間を短縮させることが走速度の維持に効果的である。また、様々な走速度やステップ長およびステップ頻度で走トレーニングを行なうこと、疲労した状態で走動作をコントロールできるようにトレーニングすることなどが勧められる。

謝 辞

本研究は、阿江通良教授の御指導と励ましのもと行なわれたものである。阿江教授には、研究や論文作成に関して一から御指導いただくとともに、体育・スポーツ科学の研究者としての態度や心構えなど、数多くのことを御教授いただきました。

藤井範久教授、榎本靖士准教授、向井直樹准教授、小池関也准教授には、研究に関する貴重な御指摘、御助言をいただきました。柴山一仁氏、スポーツバイオメカニクス研究室の諸兄には多くのアドバイスを頂き、データ収集にも御協力いただきました。

日本陸上競技連盟科学委員会の皆様には、競技会におけるデータ収集をお認めいただきました。富士通、自衛隊体育学校、アコム、早稲田大学、筑波大学の陸上競技部の指導者や選手の皆様には、実験の被験者としてご協力いただきました。

ここに記して、深く感謝の意を表すとともに、これらかも体育・スポーツ科学の研究者として学び続け、研究に尽力することを誓います。

最後に、長きにわたって学業や生活を支援していただいた両親に深く感謝いたします。

文 献

Abbiss C. and Laursen P. (2008) Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Medicine*, 38(3), 239-252

阿江通良, 宮下 憲, 横井孝志, 大木昭一郎, 渋川侃二 (1986) 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度. 筑波大学体育系紀要, 9, 229 - 239

阿江通良, 宮下 憲, 大木昭一郎 (1988) 短距離走における支持脚各部の機能と合理的な動き. 陸上競技紀要, 1, 4 - 10

阿江通良, 鈴木美佐緒, 宮西智久, 岡田英孝, 平野敬靖 (1994) 世界一流スプリンターの 100m レースパターンの分析—男子を中心に—. 佐々木秀幸ほか監 世界一流陸上競技者の技術～第 3 回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書～. ベースボールマガジン社: 東京, pp.14-28

阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *J. J. Sports Sci.*, 15, 155 - 162

阿江通良 (2001) スプリントに関するバイオメカニクス的研究から得られるいくつかの示唆. *スプリント研究*, 11, 15 - 26

馬場崇豪, 和田幸洋, 伊藤 章 (2000) 短距離走の筋活動様式. *体育学研究*, 45, 186 - 200

Bates B. T. and Osternig L. R. (1977) Fatigue effects in running. *Journal of Motor Behavior*, 9(3), 203-207

Brandon L. J. (1995) Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Med*, 19(4), 268-277

Cavanagh P. R. and Williams K. R. (1982) The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14(1), 30-35

Chapman A. E. (1982) Hierarchy of changes induced by fatigue in sprinting. *Can. J. Appl. Spo. Sci.*, 7(2), 116-122

Duffield R. and Dawson B. (2003) Energy system contribution in track running. *New Studies in Athletics*, 18(4), 47-56

遠藤俊典, 宮下 憲, 尾縣 貢 (2008) 100m 走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティクスの要因の影響. 体育学研究, 53, 477 - 490

榎本靖士, 阿江通良, 岡田英孝, 藤井範久 (1999) 力学的エネルギー利用の有効性からみた長距離走の疾技術. バイオメカニクス研究, 3 (1), 12 - 19

榎本靖士, 阿江通良, 法元康二, 横澤俊治, 中田和寿, 羽田雄一, 村木有也 (2002) 女子一流中長距離走者のバイオメカニクスの分析. 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT, 1 (1), 35 - 42

榎本靖士 (2004a) 長距離走動作のバイオメカニクスの評価法に関する研究. 平成 15 年度筑波大学博士論文.

榎本靖士 (2004b) バイオメカニクスからみた長距離走における疲労. バイオメカニクス研究, 8 (2), 112 - 119

榎本靖士, 阿江通良, 森丘保典, 杉田正明, 松尾彰文 (2005) 世界と日本の一流男子 800m 選手のレースパターンの比較. 陸上競技研究紀要, 1, 16 - 22

榎本靖士 (2006a) エネルギー論から見た長距離走動作の評価. バイオメカニクス研究, 10 (4), 281 - 287

榎本靖士 (2006b) 長距離走の動きの指導とトレーニング. トレーニング科学, 18 (4), 291 - 296

榎本靖士 (2008) 長距離走者の技術に関するバイオメカニクスの研究. 陸上競技研究, 72 (1), 2 - 13

Enomoto Y., Kadono H., Suzuki Y., Chiba T. and Koyama K. (2008) Biomechanical analysis of the medalists in the 10,000 metres at the 2007 World Championships in Athletics. New Studies in Athletics, 23(3), 61-66

榎本靖士, 門野洋介, 法元康二, 鈴木雄太, 小山桂史, 千葉 哲 (2010) 長距離レースにおける世界一流選手の走動作の特徴. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. (財) 日本陸上競技連盟, pp. 135 - 153

Ferro A., Rivera A. and Pagola I. (2001) Biomechanical analysis of the 7th World Championships in Athletics Seville 1999. New Studies in Athletics, 16, 25-60

淵本隆文, 木下健一, 金子公有 (1988) 短・中距離走におけるスピード低下のバイオメカニクスの要因. 第9回日本バイオメカニクス学会大会論集, pp.215 - 220

福田厚治, 貴嶋孝太, 伊藤 章, 堀 尚, 川端浩一, 末松大喜, 大宮真一, 山田 彩, 村木有也, 淵本隆文, 田邊 智 (2010) 一流短距離選手の疾走動作の特徴 - 第11回世界陸上競技選手権大会大阪大会出場選手について -. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. (財) 日本陸上競技連盟, pp. 39 - 50

福島洋樹, 尾縣 貢, 安井年文, 大庭恵一, 関岡康雄 (1997) 400m レース前半の疾走動作に関する研究—全力疾走動作と比較して—. 陸上競技研究, 30, 2 - 13

Graubner R. and Nixdorf E. (2011) Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 26, 19-53

羽田雄一, 阿江通良, 榎本靖士, 法元康二, 藤井範久 (2003) 100m 走における疾走スピードと下肢関節のキネティクスの変化. *バイオメカニクス研究*, 7 (3), 661 - 672

Hanon C. and Gajer B. (2010) Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 524-531

Hayes P. and Caplan N. (2012) Foot strike patterns and ground contact times during high-calibre middle-distance races. *Journal of Sports Sciences*, 30(12), 1275-1283

平野 了, 永井 純, 関岡康雄 (1998) ほぼ同一記録を有する男子中距離走者における体力特性の研究. 陸上競技研究, 34 (3), 20 - 25

平野 了, 大庭恵一, 榎本靖士, 永井 純, 尾縣 貢 (2000) 中距離走者の疾走能力に影響を及ぼす生理学的・バイオメカニクスの要因に関する事例的研究. 陸上競技研究, 40 (1), 16 - 23

Hobara H., Inoue K., Gomi K., Sakamoto M., Muraoka T., Iso S. and Kanosue K. (2010) Continuous changes in spring-mass characteristics during a 400 m sprint. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 256-261

Hogberg P. (1952) How do stride length and stride frequency influence the energy-output during running ?. *Arbeitsphysiologie*, 14, 437-441

伊藤 章, 斉藤昌久, 佐川和則, 加藤謙一, 森田正利, 小木曾一之 (1994) 世界一流スプリンターの技術分析. 佐々木秀幸ほか監 世界一流陸上競技者の技術～第3回世界陸上競技選手権大会

バイオメカニクス研究班報告書～. ベースボールマガジン社：東京，pp.31 - 49

伊藤 章，斉藤昌久，淵本隆文（1997a）スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー，および筋放電パターンの変化．体育学研究，42，71 - 83

伊藤 章，市川博啓，斉藤昌久，伊藤道郎，佐川和則，加藤謙一（1997b）アジア大会男子 400m の動作分析．佐々木秀幸ほか監 アジアー流陸上競技者の技術～第 12 回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告～.（財）日本陸上競技連盟，pp.65 - 80

伊藤 章，市川博啓，斉藤昌久，佐川和則，伊藤道郎，小林寛道（1998）100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係．体育学研究，43，260 - 273

岩井雄史，市川博啓，伊藤 章（1997）100m 走における疾走速度逓減の要因．第 13 回バイオメカニクス学会大会編集委員会 身体運動のバイオメカニクス，pp. 173 - 177

門野洋介，阿江通良，榎本靖士，杉田正明（2006）女子中距離走者のレースペースと走動作—2005 年千葉 IH 女子 800m での小林祐梨子選手に着目して—．陸上競技研究紀要，2，107 - 112

門野洋介，榎本靖士，鈴木雄太，芦澤宏一，法元康二，小山桂史（2010）世界一流男子中距離走者のレースパターンと走動作．世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術．（財）日本陸上競技連盟，pp. 105 - 121

Kaneko M., Matsumoto M. Ito A. and Fuchimoto T. (1987) Optimuin step frequency in constant speed running. In : Jonsson B. (Ed) International Series on Biomechanics, 6B, Human Kinetics, USA, 803-807

貴嶋孝太，福田厚治，伊藤 章，堀 尚，川端浩一，末松大喜，大宮真一，山田 彩，村木有也，淵本隆文，田邊 智（2010）男女短距離選手のスタートダッシュ分析．世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術．（財）日本陸上競技連盟，pp. 24 - 38

小林 海，土江寛裕，松尾彰文，彼末一之，磯 繁雄，矢内利政，金久博昭，福永哲夫，川上泰雄（2009）スプリント走の加速局面における一流短距離選手のキネティクスに関する研究．早稲田大学スポーツ科学研究，6，119 - 130

公益財団法人日本陸上競技連盟（2013）競技者育成プログラム 2013，公益財団法人日本陸上競技連盟：東京

Martin D. E. and Coe P. N. (1997) Better training for distance runners (second edition). Human Kinetics, Champaign

松尾彰文, 杉田正明, 阿江通良, 小林寛道 (1994) 中長距離決勝におけるスピード, ステップ頻度およびステップ長について. 佐々木秀幸ほか監 世界一流陸上競技者の技術～第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書～. ベースボールマガジン社: 東京, pp.92 - 111

松尾彰文, 杉田正明, 小林寛道, 阿江通良 (1997) アジア大会における中距離走者のスピード, ステップ頻度およびステップ長の変化. 佐々木秀幸ほか監 アジア一流陸上競技者の技術～第12回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告～. (財) 日本陸上競技連盟, pp.83 - 97

松尾彰文 (2001) 陸上競技のサイエンス 28・インターハイでのバイオメカニクス分析①短距離. 月刊陸上競技. 講談社, 陸上競技社: 東京, 8: pp.174 - 175

松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 杉田正明, 土江寛裕, 阿江通良 (2010) 100m のレース分析. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. (財) 日本陸上競技連盟, pp. 5 - 17

Mero A., Komi P., Luhtanen P. and Susanka P. (1988) Kinematics of top sprint (400m) running in fatigued conditions. Track and Field Quarterly Review, 88(1), 42-45

宮下 憲, 阿江通良, 横井孝志, 橋原孝博, 大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. J.J.Sports.Sci., 5, 892 - 898

宮下 憲 (1991a) 100m・110mH 競走の技術と戦術. 帖佐寛章・佐々木秀幸監 最新陸上競技入門シリーズ4 ハードル. ベースボールマガジン社: 東京, pp.56 - 73

宮下 憲 (1991b) 400mH 競走の競技特性と適性. 帖佐寛章・佐々木秀幸監 最新陸上競技入門シリーズ4 ハードル. ベースボールマガジン社: 東京, pp.74 - 88

宮下 憲 (1993) 100m ハードルレースに於けるモデルタッチダウンタイムに関する研究. 陸上競技研究, 14, 10 - 20

持田 尚, 杉田正明 (2010) 2007 世界陸上選手権大会大阪大会における決勝 400m 走レースのバイオメカニクスの分析. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. (財) 日本陸上競技連盟, pp. 51 - 75

文部科学省 (2011) スポーツ基本法.

森丘保典, 阿江通良, 岡田英孝, 高松潤二, 宮下 憲 (1997) 100m 疾走における下肢動作の変化の分析—下肢動作動作検出装置の開発と応用—. J.J.Sports.Sci., 16, 111 - 118

森丘保典, 伊藤静夫, 原 孝子, 青野 博, 雨宮輝也, 大庭恵一, 内丸 仁 (2003) 間欠的漸増負荷走行中の血中乳酸動態から推定されるパワーと中距離走能力との関係. 体力科学, 52, 285 - 294

森丘保典, 榎本靖士, 杉田正明, 松尾彰文, 阿江通良, 小林寛道 (2005) 陸上競技 400m ハードル走における一流男子選手のレースパターン分析. バイオメカニクス研究, 9 (4), 196 - 204

森丘保典 (2006) 陸上競技のサイエンス 87 男子 400m ハードルにおけるタイプ別モデルタッチダウンタイムについて. 月刊陸上競技. 講談社, 陸上競技社: 東京, 11, pp.176 - 178

森丘保典, 山崎一彦 (2008) 陸上競技男子 400m ハードル走における最適レースパターンの創発—一流ハードラーの実践知に関する量的および質的アプローチ—. トレーニング科学, 20 (3), 175 - 181

森丘保典, 柳谷登志雄, 榎本靖士, 杉田正明, 阿江通良 (2010) 男女 400m ハードル走における記録およびレースパターン分析. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. (財) 日本陸上競技連盟, pp. 96 - 104

森田正利, 伊藤 章, 沼澤秀雄, 小木曾一之, 安井年文 (1994) スプリントハードル (100mH, 110mH) および男女 400mH のレース分析. 佐々木秀幸ほか監 世界一流陸上競技者の技術〜第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書〜. ベースボールマガジン社: 東京, pp.50 - 65

永井 純, 関岡康雄, 串間敦郎, 得居雅人, 山下 誠 (1988) 800m 走における疾走フォームに関する実験的研究—350m 地点と 750m 地点のフォームの比較—. 筑波大学体育系運動学類運動学研究, 5, 35 - 41

永井 純, 山地佳寿美, 佐伯徹郎, 高松 薫 (1993) 800m 走における短距離型及び長距離型走者の体力特性; 同一記録を有する日本の一流女子走者の場合. 陸上競技研究, 14, 2 - 8

永井 純, 榎本靖士, 木越清信, 柴田賢二 (2002) 中距離走者におけるバウンディング持続能力. 陸上競技研究, 51, 18 - 24

中野正英, 尾縣 貢, 伊藤道郎, 吉武信二 (1991) 100m レース後半の疾走速度逓減を規定する動作要因の検討. 陸上競技研究, 6, 2 - 7

中田和寿, 阿江通良, 宮下 憲, 横澤俊治 (2003) バイオメカニクスデータを活用した短距離走動作の改善. 陸上競技学会誌, 1 (1), 30 - 38

Noakes T.D., Lambert M.I. and Hauman R. (2009) Which lap is the slowest? An analysis of 32 world mile record performances. *Br. J. Sports Med.*, 43, 760-764

尾縣 貢, 真鍋芳明, 高本恵美, 木越清信 (2003) 400m 走中の下肢関節トルク持続能力と下肢の筋持久性との関係. *体力科学*, 52, 455 - 464

小木曾一之, 安井年文, 青山清英, 渡辺健二 (1998) 全力疾走時の速度変化に伴う支持脚各部の機能の変化. *体力科学*, 47, 143 - 154

大庭恵一, 永井 純, 森丘保典, 伊藤静夫, 宗野浩明 (1999) 最大酸素摂取量テストおよびアネロビック・パワーテストからみた中距離走者の生理学的特性. *筑波大学運動学研究*, 15, 43 - 51

佐川和則, 斉藤昌久, 伊藤道郎, 加藤謙一, 市川博啓, 伊藤 章 (1997) アジア・トップスプリンターのスタートダッシュの動作分析. 佐々木秀幸ほか監 アジアー一流陸上競技者の技術～第12 回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告～. 財団法人日本陸上競技連盟: 東京, pp.33 - 48

斉藤昌久, 伊藤 章, 佐川和則, 伊藤道郎, 加藤謙一, 市川博啓 (1997) アジア・トップスプリンターのスタートダッシュの動作分析. 佐々木秀幸ほか監 アジアー一流陸上競技者の技術～第12 回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告～. 財団法人日本陸上競技連盟: 東京, pp.11 - 31

佐竹昌之, 池上晴夫 (1985) 長距離走におけるピッチとストライドの変化が走効率に及ぼす影響. *体育学研究*, 30 (3) 231 - 239

柴山一仁, 川上小百合, 谷川 聡 (2010) 2007 年世界陸上競技選手権大阪大会における男子 110m ハードル走および女子 100m ハードル走レースの時間分析. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. (財) 日本陸上競技連盟, pp. 76 - 85

篠原康男, 前田正登 (2013) 短距離走スタートにおけるスターティングブロックに加えられた力とブロッククリアランスの関係. *体育学研究*, 58, 585 - 597

Skof B. and Stuhec S. (2004) Kinematic analysis of Jolanda Ceplak's running technique. *New Studies in Athletics*, 19(1), 23-31

Sprague P. and Mann R. V. (1983) The effects of muscular fatigue on the kinetics of sprint running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(1), 60-66

杉田正明, 松尾彰文, 阿江通良, 伊藤 章, 小林寛道 (1994) 男子 800m におけるスピード・ステップ頻度およびステップ長に関する事例的研究. トレーニング科学, 6 (2), 119 - 128

杉田正明, 松尾彰文, 阿江通良, 伊藤 章, 小林寛道 (1997) アジア大会における長距離走者のスピード, ピッチおよびストライドの変化. 佐々木秀幸ほか監 アジア一流陸上競技者の技術〜第 12 回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告〜. 財団法人日本陸上競技連盟: 東京, pp. 99 - 110

Sunderland D. (2005) The requirements for success. High Performance Middle-Distance Running. Crowood Press: Wiltshire, pp. 19-37

湯 海鵬, 田 佳 (1997) エリート中距離選手のランニング・フォームの比較. 身体運動のバイオメカニクス, 189 - 194

戸谷直喜 (1997) 800m 走の疾走動作に関するバイオメカニクスの研究—疲労の影響を中心に—. 平成 8 年度筑波大学大学院体育研究科修士論文.

土江寛裕 (2009) ショートスプリントのトレーニング. 日本トレーニング科学会編 シリーズ[トレーニング科学] 6 スプリントトレーニング—速く走る・泳ぐ・滑るを科学する—. 朝倉書店: 東京, pp. 96 - 104

土江寛裕 (2011) 短距離・リレー. 陸上競技入門ブック. ベースボールマガジン社: 東京

Tucker R., Lambert M.I. and Noakes T.D. (2006) An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. International Journal of Sports Physiology and Performance, 1, 233-245

Vardaxis V. and Hoshizaki T. B. (1989) Power patterns of the leg during the recovery phase of the sprinting stride for advanced and intermediate sprinters. Int. J. Sport Biomech., 5, 332-349

Williams K. R., Snow R. and Agruss C. (1991) Changes in distance running kinematics with fatigue. Int. J. Sport Biomech., 7, 138-162

Winter D. A. (2004) Bioemachanics and motor control of human movement (Third edition). 49-50, John Wiley & Sons, New York.

Wood G. A. (1987) Biomechanical limitations to sprint running. Med Sport Sci., 25, 58-71

矢田恵大, 阿江通良, 谷川 聡, 伊藤 章, 福田厚治, 貴嶋孝太 (2011) 標準動作モデルによる世界一流および学生短距離選手の疾走動作の比較. 陸上競技研究, 87, 10 - 16

山元康平, 宮代賢治, 内藤 景, 木越清信, 谷川 聡, 大山卞圭吾, 宮下 憲, 尾縣 貢 (2014) 陸上競技男子 400m 走におけるレースパターンとパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 59, 159 - 173

山下 誠, 山地佳寿美, 長沼祥吾, 永井 純 (1991) ほぼ同一記録を有する一流男子 800m 選手における体力特性の比較. 陸上競技研究, 6, 19 - 26

吉岡利貢, 山本 章, 高嶋 渉, 鍋倉賢治 (2005) 5000m 走パフォーマンスに及ぼすペース配分の影響. 陸上競技研究, 60, 24 - 32

図子浩二 (1999) トレーニングマネジメント・スキルアップ革命—スポーツトレーニングの計画がわかる③—問題解決型思考によつトレーニング計画の勧め. コーチングクリニック, 14 (3), 27 - 31

図子浩二 (2006) スポーツパフォーマンスを解き明かすふたたび—陸上競技・跳躍. 体育の科学, 56 (2), 127 - 133

図子浩二 (2009) スプリントトレーニングのマネジメント. 日本トレーニング科学会編 シリーズ [トレーニング科学] 6 スプリントトレーニング—速く走る・泳ぐ・滑るを科学する—. 朝倉書店: 東京, pp.1 - 9

